

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2009

MONIKA DOSEDĚLOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA NETKANÝCH TEXTILIÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**KRYSTALIZACE PEVNÝCH LÁTEK NA
TEXTILNÍCH STRUKTURÁCH**

**CRYSTALLIZATION OF SOLID SUBSTANCES ON
TEXTILE TEXTURES**

Vedoucí diplomové práce:

Konzultant diplomové práce:

Autorka diplomové práce:

Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Prof. RNDr. David Lukáš, CSc.

Monika Dosedělová

Počet stran: 73

Počet obrázků: 62

Počet tabulek: 15

Počet příloh: 9

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 25. května 2009

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Chaloupkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky při vzniku této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Jitce Färberové za trpělivost a ochotu při vytváření snímků na mikroskopu.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za trpělivost a velkou podporu po celou dobu studia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá studiem krystalizace pevných látek na vláknenných útvarech a nanovláknenných vrstvách. Teoretická část je zaměřena na vysvětlení pojmů krystal, jeho vznik, vlastnosti a aplikace v praxi. Praktická část se zabývá krystalizací chloridu sodného a Woodova kovu na nanovláknenných vrstvách různých vlastností. Je posuzován vliv porózy a průměru vláken nanovláknenných vrstev, dále vliv koncentrace roztoku chloridu sodného a vliv různé aplikace Woodova kovu na vláknenné útvary. Cílem práce je nalézt vhodný proces a podmínky pro výrobu nanokrystalů.

Klíčová slova:

nanokrystal, krystalizace, růst krystalů, chlorid sodný, Woodův kov

Anotation

This diploma paper is studying a crystallization of solids on the fiber units and nonwovens layers. The theoretical part is focusing on explanation of the notions (for example crystal), origin of crystal, its characteristics and applications in a practice. The practical part deals with the crystallization of sodium chloride and Wood`s metal to nonwovens layers of different characteristics. The influence of the effects of porosity and fiber diameter of nanofibers layers is assesed, also the impact of concentration of sodium chloride solution and the influence of different applications of Wood`s metal to the fiber services. The main aim of this work is finding suitable process and conditions suitable for production of the nanocrystals.

Key words:

nanocrystal, crystallization, growth crystals, sodium chloride, Wood`s metal

Seznam symbolů a zkratek

Ag	stříbro
aj.	a jiné
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
Au	zlato
Bi	bismut
CaSO ₄ .2H ₂ O	dihydrát síranu vápenatého
Cd	kadmium
Cu	měď
Fe	železo
Fe ₃ C	karbid železa
Fe ₃ O ₄	magnetit
Ga	galium
H ₂	vodík
H ₂ O	voda
HCl	kyselina chlorovodíková
CH ₄	methan
K ₂ Cr ₂ O ₇	dichroman draselný
KBr	bromid stříbrný
LiF	fluorid lithný
Na ₂ SO ₄	síran sodný
NaCl	chlorid sodný
např.	například
NiAs	nikelin
O ₂	kyslík
obr.	obrázek
příp.	případně
PAL	povrchově aktivní látka
S	síra
Sb	antimon
Sn	cín

tab.	tabulka
TiO ₂	oxid titaničitý
tj.	to je
tzn.	to znamená
X	krystaly nebyly vytvořeny
Zn	zinek

Obsah

Úvod	10
1 Teoretická část	11
1.1 Co je to krystal?	11
1.2 Vznik krystalu	11
1.3 Bodové grupy	12
1.4 Krystalové soustavy	13
1.5 Krystalová mřížka	14
1.6 Krystalizace	16
1.6.1 Krystalizace z plynů	17
1.6.2 Krystalizace z roztoků a tavenin	17
1.6.3 Krystalizace v pevné fázi	18
1.6.4 Krystalizace v kapiláře	18
1.6.5 Krystalizace kovů	19
1.7 Podmínky krystalizace	20
1.8 Růst krystalů	20
1.8.1 Vliv podmínek krystalizace na růst krystalů	21
1.9 Rozpouštění krystalů	21
1.10 Vlastnosti krystalů	21
1.10.1 Mechanické vlastnosti	22
1.10.2 Tepelné vlastnosti	23
1.11 Vazby v krystalech	23
1.11.1 Iontová vazba	24
1.11.2 Kovalentní vazba	24
1.11.3 Van der Waalsova vazba	24
1.11.4 Vodíková vazba	25
1.11.5 Kovové krystaly	25
1.12 Využití krystalů	26
1.13 Nanokrystaly	26
1.13.1 Aplikace nanokrystalů	27
1.13.2 Fyzikální popis nanokrystalů	27
1.14 Salinita	27

2	Experimentální část	30
2.1	Úvod experimentální části	30
2.2	Použitá měřicí zařízení	30
2.2.1	Lucia G.....	31
2.2.2	Rastrovací mikroskop VEGA.....	31
2.3	Parametry použité látky	32
2.3.1	Chlorid sodný	32
2.3.2	Woodův kov	32
2.3.3	Textilie spunbond	33
2.3.4	Vláknenná vrstva PUR.....	34
2.4	Průběh první části experimentu	35
2.4.1	Příprava roztoků NaCl	36
2.4.2	Úhel smáčení	36
2.4.3	Vytváření krystalů na rovinném povrchu.....	37
2.4.4	Tvorba krystalů na textili Spunbond.....	39
2.4.5	Tvorba krystalů na nanovláknenné vrstvě.....	41
2.4.6	Tvorba krystalů na nanovláknenné vrstvě s povrchově aktivní látkou.....	46
2.4.7	Diskuze výsledků tvorby krystalů na vláknenné vrstvě PUR pomocí roztoků NaCl	48
2.5	Průběh druhé části experimentu	50
2.5.1	Tvorba krystalů s Woodovým kovem.....	50
2.5.2	Diskuze výsledků tvorby krystalů pomocí Woodova kovu	56
	Závěr.....	59
	Použitá literatura	60
	Přílohy	62

Úvod

Žijeme ve světě krystalů. Chodíme po nich, žijeme v domech z krystalických materiálů, oblékáme se do tkanin s krystalovou strukturou, bez krystalů se neobejde věda ani technika. Krystaly nás léčí, jíme je, jsou součástí našeho těla i jiných organismů.

Od prvních pokusů charakterizovat nepřebornou rozmanitost vnějších tvarů přírodních minerálů pomocí obecně platných empirických zákonů uplynula už celá čtyři století. Přesto patří nauka o krystalech k těm přírodním vědám, které se i v současné době dynamicky rozvíjejí. Denně jsou získávány krystaly nových látek s požadovanými fyzikálními, chemickými nebo mechanickými vlastnostmi.

Tato práce se zabývá krystalizací pevných látek na textilních strukturách. Experiment byl rozdělen na dvě části, kdy v první části byly připraveny roztoky NaCl o různých koncentracích, a ty byly aplikovány na vláknenné útvary. Práce byla zaměřena na popis krystalizace NaCl v závislosti na různých podmínkách prostředí a na popis tvaru krystalů, které se tvořily na zakřivených površích. Zabývala jsem se též krystalizací NaCl na nanovláknenných vrstvách. V druhé části experimentu byl pozorován vznik krystalů na nanovláknenných strukturách pomocí Woodova kovu.

V experimentu docházelo k vytvoření krystalů různých velikostí a tvarů, které byly vyhodnocovány na rastrovacím mikroskopu VEGA a obrazové analýze Lucia G.

1 Teoretická část

1.1 Co je to krystal?

Pravidelná vnitřní stavba pevných látek způsobuje, že tyto látky mají často tvar pravidelných geometrických těles, která označujeme jako krystaly. Krystalický stav můžeme považovat za nejdokonaleji organizovaný stav hmoty. Mezi krystalické látky patří téměř všechny minerály a drtivá většina dalších pevných látek známých z anorganické nebo organické chemie [1].

Krystaly jsou technicky nejvýznamnější pevné látky. Je možné je charakterizovat buď z hlediska mikroskopické stavby, a to jako systém pravidelně uspořádaných částic, nebo podle jejich důsledků, tj. podle geometrie vnějšího tvaru či fyzikálních vlastností.

Pomocí fyzikálních charakteristik je krystal definován jako hmotné prostředí s určitým chemickým složením a přesně daným bodem tání, které je homogenní a anizotropní. Homogenita zde znamená, že každá fyzikální vlastnost měřená v daném směru bude v libovolném objemovém elementu krystalu stálá. Nejnápadnějším projevem anizotropie je tvar krystalů, který ukazuje, že rychlost růstu je v různých směrech různá. Podle toho, zda se anizotropní vlastnosti krystalu dají nebo nedají makroskopicky pozorovat na jeho vnějším tvaru, dostáváme dvě kategorie vlastností.

První kategorie je vnější. Jsou zde zahrnuty např. vlastnost tvoření rovinných stěn během růstu, konstantní úhly mezi odpovídajícími stěnami krystalů téže látky, vnější symetrie a vlastnosti při rozpouštění. Druhá kategorie je vnitřní. V této kategorii jsou zahrnuty vlastnosti, např. vnitřní osy symetrie, charakteristiky mechanické, elektrické, magnetické, optické aj. [2].

1.2 Vznik krystalu

Ke vzniku krystalu dochází dvojstupňovým procesem, který se skládá z nukleace, tj. ze vzniku zárodku krystalu, a z růstu krystalu připojováním atomů, radikálů nebo molekul k tomuto zárodku.

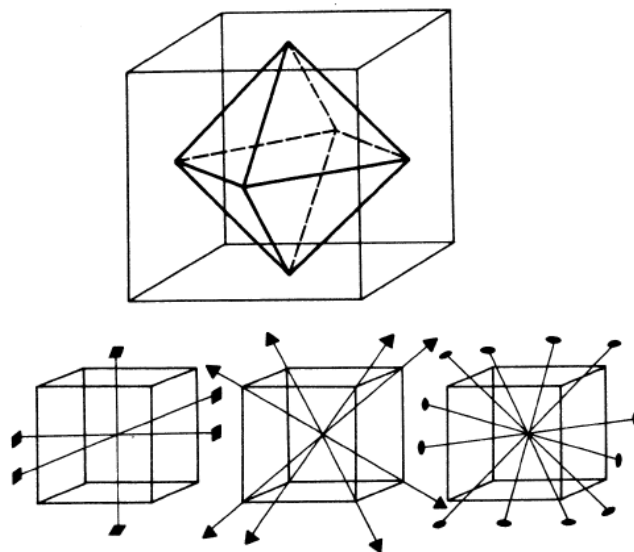
Nukleace je z hlediska termodynamiky nejkomplicovanější etapou vzniku krystalu. Termínem nukleace jsou označovány procesy vzniku a růstu nuklea neboli zárodku krystalu. Tento zárodek je jen nepatrným seskupením atomů, jejichž uspořádání odpovídá struktuře budoucího krystalu. Jde o velmi nestabilní seskupení atomů, které se může snadno rozpadnout. Studium nukleačních procesů je neobyčejně komplikované a současná přístrojová technika dosud neumožňuje přímé pozorování vzniku a vývoje zárodků. Ke vzniku zárodků může docházet různým způsobem.

Spontánní neboli samovolná nukleace je proces, při němž se vytvářejí zárodky krystalů v určitých oblastech nestabilní mateřské fáze, která může být skupenství kapalného, plynného nebo pevného. Hybnou silou spontánní nukleace je porušení rovnovážného stavu v dané soustavě, které je vyvoláno změnou fyzikálně chemických podmínek, např. poklesem teploty. Toto porušení rovnováhy může být vyjádřeno mírou přesycení, při němž se atomy, ionty nebo molekuly mohou vzájemně spojovat za vzniku zárodků [1].

1.3 Bodové grupy

Každý krystal je charakterizovaný určitým souborem prvků souměrnosti, který představuje kombinaci os 1, 2, 3, 4, 6, $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{4}$. Jsou známé krystaly odlišné svým vnějším tvarem, avšak s týmiž prvky souměrnosti. Pokud porovnáme např. prvky souměrnosti krychlových krystalů kamenné soli a oktaedrických krystalů magnetitu Fe_3O_4 , dostaneme úplný souhlas. Krychle i oktaedr patří tedy v tomto případě ke stejnému typu souměrnosti, jak ukazuje obr.1.

Prvky souměrnosti nebo jejich kombinace, které při operacích souměrnosti zachovávají alespoň jeden bod prostoru nepohyblivý, nazýváme bodovými grupami. Existuje pouze 32 různých skupin prvků charakterizujících souměrnost vnějšího tvaru krystalů. Soubor krystalů popisovaných danou bodovou grupou se nazývá oddělením. Krystaly je tedy možné třídit do 32 oddělení souměrnosti [2].



Obr. 1 Krychle a oktaedr se stejnými prvky souměrnosti [2].

1.4 Krystalové soustavy

Uvedené krystalové bodové grupy je možno rozdělit podle společné osy nebo společných os v osové kombinaci do 7 skupin, a to krystalových soustav. Klasifikačním kritériem pro zařazení krystalu do některé soustavy je určitá minimální souměrnost krystalového oddělení. Soubor os, kterým je každá soustava charakterizována, představuje minimum vnější souměrnosti, které musí krystal mít, aby mohl do soustavy náležet [2]. V tab. 1 je znázorněn přehled krystalových soustav a jejich příklady.

Tab. 1 Krystalové soustavy [3].

Soustava	Osy a meziosní úhly	Příklady
Trojklonná (triklinická)	Tři osy, které nejsou navzájem kolmé a mají různé délky $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq \alpha$	$K_2Cr_2O_7$
Jednoklonná (monoklinická)	Tři osy, z nichž jeden pár os nesvívá pravý úhel, a všechny mají různé délky $a \neq b \neq c$ $\alpha = 90^\circ \neq \gamma \neq \beta$	S- $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

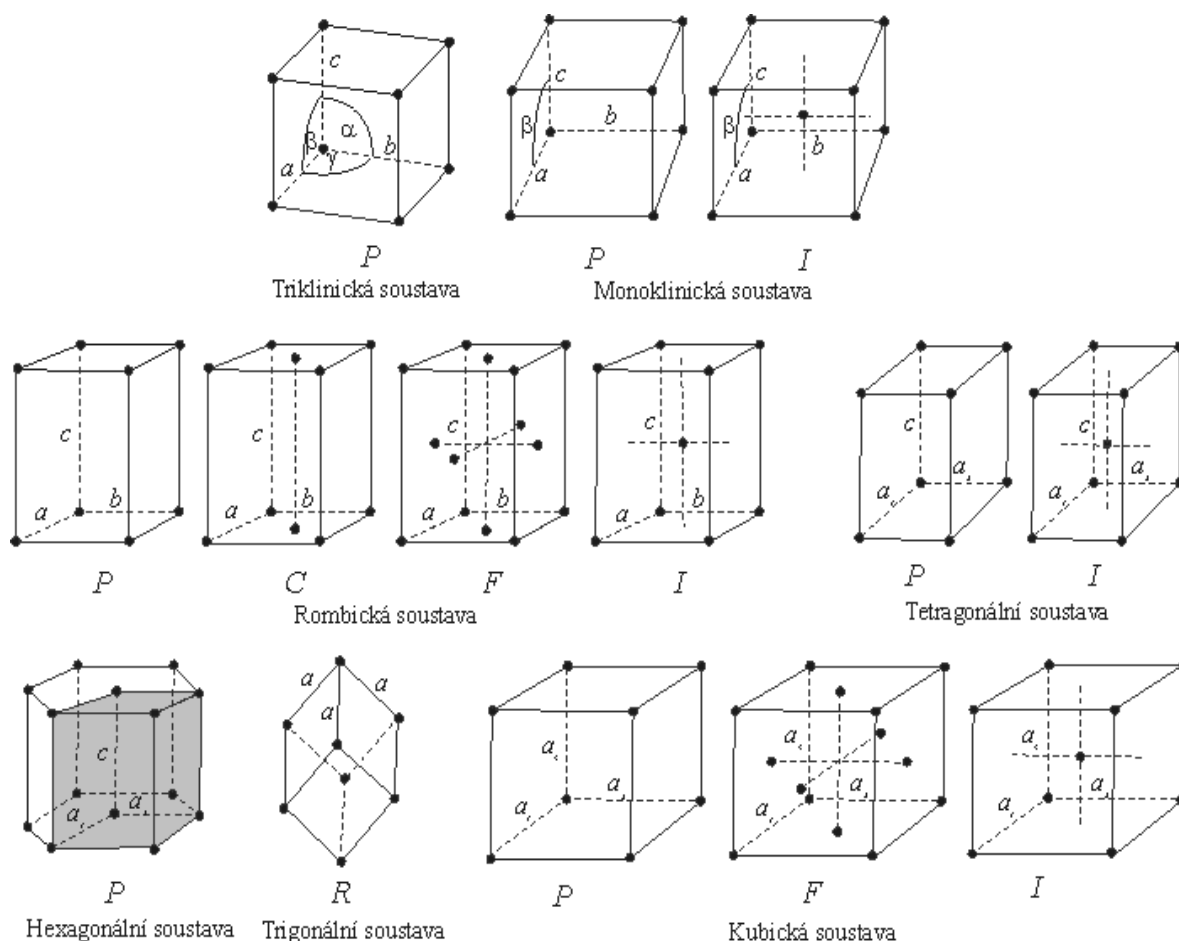
Čtverečná (ortorombická)	Tři osy navzájem kolmé a různě dlouhé $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	S- Ga Fe ₃ C (cementit)
Tetragonální	Tři osy navzájem kolmé, dvě osy stejně dlouhé $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sn- (bílý) TiO ₂
Krychlová (kubická)	Tři osy navzájem kolmé a všechny stejně dlouhé $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cu, Ag, Au, Fe NaCl
Šesterečná (hexagonální)	Tři osy v jedné rovině, svírající navzájem úhly 120° a stejně dlouhé; čtvrtá osa je k nim kolmá $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	Zn, Cd Ni, As
Kosočtverečná (romboendrická)	Tři osy se stejným vzájemným náklonem, nesvírají pravé úhly a mají stejnou délku $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	As, Sb, Bi Kalcit

1.5 Krystalová mřížka

Z hlediska vnitřní stavby můžeme tuhé krystalické těleso v rovnovážném stavu definovat jako množinu uspořádaně rozložených atomů nebo iontů kmitajících kolem poloh tvořících prostorovou mřížku. Jestliže je nějaká skupina atomů, iontů nebo molekul umístěna tak, že se její určitý bod ztotožní s uzlovým bodem, bude stejný motiv existovat i v okolí každého dalšího uzlového bodu.

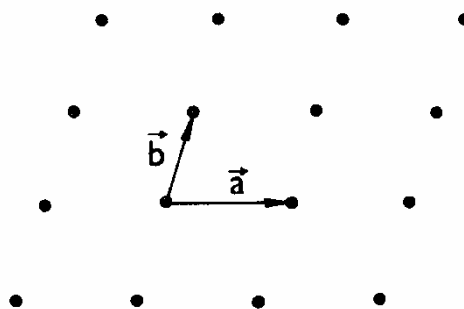
Krystalová mřížka je abstraktní pojem. Naproti tomu pojem struktura krystalu se vztahuje ke konkrétnímu prostorovému rozložení částic. Struktura krystalu není dána geometrickými zákonitostmi, ale zákonitostmi fyzikálními. Symetrické rozložení atomů není příčinou, ale důsledkem odpovídající konfigurace fyzikálních sil v prostoru.

K popisu krystalů se používá pojmu Bravaisova mřížka. Je definována jako uspořádání nekonečného počtu bodů, z nichž každý má stejné a stejně orientované okolí. Bravaisovy mřížky (obr. 2) mohou být jednorozměrné neboli lineární, dvojrozměrné neboli rovinné a trojrozměrné neboli prostorové.

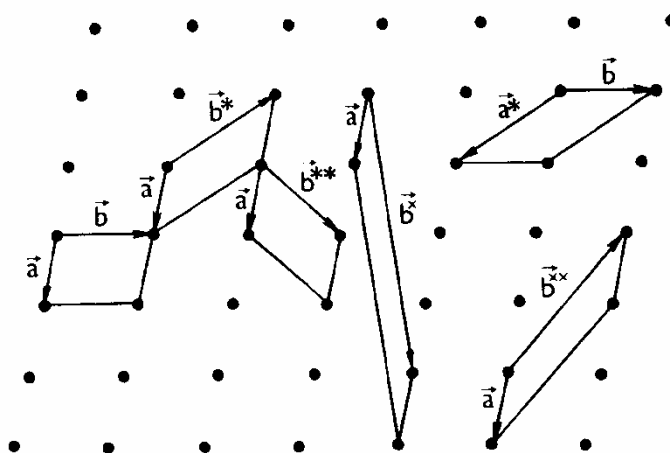


Obr. 2 Základní buňky charakterizující 14 prostorových Bravaisových mřížek [4].

Mřížka se dá jednoznačně popsat základními vektory (obr. 3). V dané mřížce lze však tyto vektory zvolit nekonečným počtem způsobů (obr. 4). Přímky určené uzlovými body nazýváme uzlové neboli mřížkové přímky, roviny určené uzlovými body jsou uzlové neboli mřížkové roviny [2].



Obr. 3 Dvojměrná kosoúhlá Bravaisova mřížka [2].



Obr. 4 Různé možnosti volby základních translací ve dvojměrné mřížce [2].

1.6 Krystalizace

Krystalizace probíhá v různých fyzikálních podmínkách a různých chemických prostředích. Je-li krystalizující systém jednocomponentní, může docházet ke krystalizaci:

- kondenzací páry,
- tuhnutím kapaliny,
- růstem krystalů v pevné fázi (rekystalizace, polymorfni přeměna).

U vícekomponentních systémů je krystalizace komplexní proces a může probíhat různými procesy:

- syntéza (slučování) v plynné fázi,
- disociace plynné fáze,
- odpařování nasyceného roztoku,

- ochlazování nasyceného roztoku,
- chemické srážení,
- elektrolytické vylučování na katodě,
- eutektické a perieutektické pochody v pevné fázi,
- druhotná krystalizace z pevných roztoků na okrajích zrn,
- difúze složek různého skupenství do pevné fáze spojená se vznikem nových fází.

Výše uvedené procesy se v přírodě uplatňují různou měrou a některé z nich se uplatňují výhradně při laboratorním pěstování monokrystalů [6].

1.6.1 Krystalizace z plynů

Krystalizace z plynné fáze je nejméně běžný případ vzniku minerálů. Proces se označuje jako sublimace. Příkladem může být vznik sněhových vloček ve vzduchu nebo tvorba síry na sopečných fumarolách. Oxid siřičitý uvolněný v magmatickém procesu se redukuje reakcí s oxidem uhelnatým za vzniku ryzí síry. Ta se v plynném stavu dostává na povrch, kde krystalizuje na chladnějších místech. Podobně může vznikat i salmiak. Sublimačními procesy často vznikají sekundární minerály na některých hořících uhelných haldách (Radvanice, Oslavany) [6].

1.6.2 Krystalizace z roztoků a tavenin

Příkladem krystalizace z roztoku může být vznik halitu nebo kamence. Budeme-li rozpouštět halit ve vodě, dojdeme do stadia, kdy zůstává v roztoku nerozpustný zbytek a mezi pevnou fází a roztokem vzniká rovnovážný stav. V takovém případě označíme roztok s rozpuštěným halitem při dané teplotě jako nasycený. Zvýšením teploty nasyceného roztoku se stává nenasyceným, protože rozpustnost pevné látky se zvyšuje s teplotou. Budeme-li z nasyceného roztoku odpařovat vodu nebo snížíme-li jeho teplotu, dostaneme přesycený roztok. Z přesyceného roztoku může dojít ke krystalizaci, a to přirozené nebo uměle vyvolané.

Krystalizaci vyvoláme tzv. očkováním, kdy vložíme těleso (nečistota, krystal) do roztoku. K samovolné krystalizaci dojde v případě, že vzniknou krystalizační jádra - nuklea. Pokud má krystalizace z roztoku plynule probíhat, musí být splněna některá z následujících podmínek: snižuje se teplota roztoku nebo taveniny, zvyšuje se

koncentrace krystalizujícího roztoku odpařováním rozpouštědla, a nebo se dosycuje krystalizující roztok krystalizující látkou.

V přírodě je častějším případem krystalizace z taveniny. Je to případ vzniku minerálů ve všech typech plutonických i vulkanických hornin. Při krystalizaci z tavenin je hlavní řídící veličinou teplota, v menší míře se podílí i tlak a celkové složení taveniny. V geologických procesech mluvíme o magmatické tavenině (nebo lávové tavenině) [6].

1.6.3 Krystalizace v pevné fázi

Krystalizace v pevném stavu probíhá především v metastabilních systémech, jako jsou látky s neuspořádanou vnitřní stavbou (látky amorfni). V amorfniích látkách sice neexistuje uspořádaní na dlouhou vzdálenost, ale lokální uspořádaní stavebních částic zde najdeme v rámci stavebních jednotek (např. tetraedry SiO_4 v opálu). Tyto uspořádané domény mohou posloužit jako krystalizační zárodky, které jsou základem pro postupnou rekystalizaci v pevném stavu. Výsledné krystaly mají často radiálně paprscité uspořádaní a jehlicovité krystaly tvoří sférolity.

Za krystalizaci v pevném stavu můžeme považovat všechny fázové změny v horninách, které jsou spojeny s metamorfními pochody a všechny typy polymorfních přeměn [6].

1.6.4 Krystalizace v kapiláře

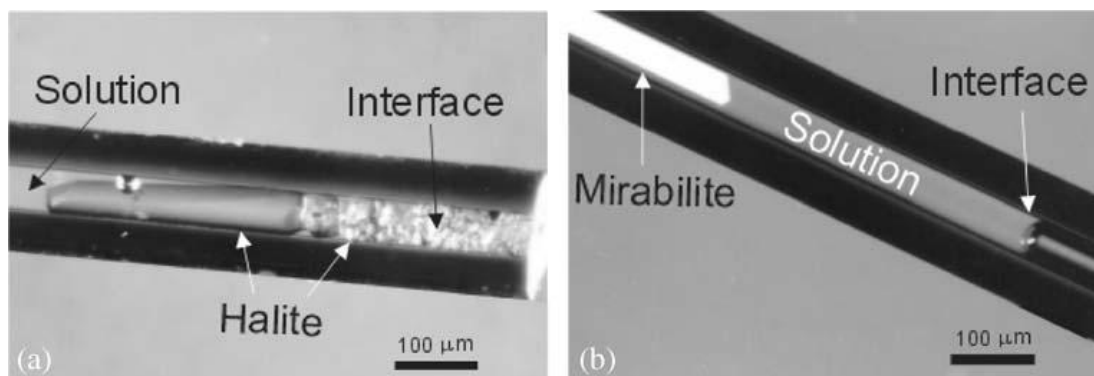
Srážení minerálů je uskutečněno uvnitř skleněné kapiláry. Transparentnost kapiláry nám dovoluje studovat typ zárodka minerálů. Kapilára je uvedena svisle do roztoku a probíhá vztlínání. Tento jev může být pozorován na binokulárním mikroskopu pod polarizovaným světlem.

Růst krystalu v kapiláře poprvé použili Rodríguez-Navarro [7] a Doehne [7] na studium vzdálenosti sraženiny minerálu na rozhraní vzduch-roztok.

Provedli experiment s kapilárou, který ukazuje odlišné mechanismy krystalizace Na_2SO_4 a NaCl . Krystal kamenné soli je obvykle vyprodukován na rozhraní kapilára-roztok-vzduch. Na tomto rozhraní je koncentrace NaCl vyšší než v množství roztoku, a to kvůli vypařování.

Růst krystalu kamenné soli přes povrch kapiláry je pozorován kvůli různorodému vzniku zárodku. Naopak krystal Na_2SO_4 je vyprodukovaný daleko od rozhraní vzduch-roztok. Neobjevují se žádné interakce mezi Na_2SO_4 a povrchem kapiláry. Snímky na obr. 5 ukazují na stejnorodé tvoření zárodků Na_2SO_4 .

Studium růstu krystalů NaCl a Na_2SO_4 poskytuje informaci o pozici krystalu v kapiláře a typu zárodku [7].



Obr.5 Snímky ze stereomikroskopu, růst soli v kapiláře. a) růst NaCl na rozhraní kapilára-roztok-vzduch, b) růst Na_2SO_4 daleko od rozhraní vzduch-roztok [7].

1.6.5 Krystalizace kovů

Proces krystalizace slitin chápeme jako přeměnu, v jejímž průběhu se zvětšuje podíl tuhé fáze na úkor kapalné. Výchozím bodem je posouzení podmínek (teplota, tlak, složení), za kterých obě fáze koexistují. Jestliže jsou v rovnováze, pak se mezi nimi nemění kvantitativní proporce. Při rovnováze se nemůže zvětšovat podíl tuhé fáze. Teprve po určitém odklonu rovnovážného stavu začne vlastní krystalizace [8].

Průběh krystalizace kovů je řízen obecnými zákonitostmi platnými pro všechny fázové přeměny. Obecným kritériem, sloužícím k působení možnosti samovolného průběhu libovolné fázové přeměny, je změna volné entalpie ΔG , definovaná rovnicí (1).

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S, \quad (1)$$

kde ΔH je změna entalpie a ΔS změna entropie provázející tuto přeměnu. Volná entalpie představuje podíl energie, kterou soustava může přeměnit v práci, tj. v daném případě k uskutečnění fázové přeměny [8].

1.7 Podmínky krystalizace

Když chceme, aby se vzorek při normálním tuhnutí čistil, musí být rychlost tuhnutí dostatečně malá, aby rozhraní pevné a kapalné fáze postupující do taveniny bylo hladké. Při velkých rychlostech tuhnutí se objeví dendrity. Jsou to jednoduché nebo rozvětvené hrboly vysunuté do taveniny.

Při nižších růstových rychlostech se může za určitých podmínek objevit tzv. vláknová substruktura. Krystal mající takovou substrukturu se skládá z vláken převážně šestiúhelníkového průřezu [3].

1.8 Růst krystalů

K růstu krystalu dochází připojováním stavebních částic k jeho povrchu. Lze rozlišit dva hlavní způsoby růstu. První z nich je postupné přikládání stavebních částic do souvislých vrstev na ideálně vyvinutých krystalových plochách. Druhým způsobem je spirálovitý růst krystalu.

Teorie vysvětlující růst krystalu postupným připojováním částic do souvislých vrstev na ideálních krystalových plochách se často označuje jako Kosselova teorie, příp. jako teorie Kossela a Stranskiho. Základem této teorie je poznatek, že během růstu krystalu z roztoku dochází nejen k připojování stavebních částic k jeho povrchu, ale vlivem tepelných pohybů též k odtrhávání částic již dříve připojených. Podle této teorie dochází ke vzniku nové vrstvy krystalu uložением stavebních částic na vhodném místě krystalové plochy. Připojení každé částice k povrchu krystalu je provázeno uvolněním určitého množství energie. Existují tři typy bodů na povrchu krystalu, v nichž se tato částice může připojit. Jsou to roh krystalu, krystalová hrana a krystalová plocha.

Spirálový růst krystalu vyžaduje přítomnost šroubových, příp. hranových dislokací v jeho struktuře. Teorii spirálového růstu lze vysvětlit skutečností, že k růstu dochází i při minimálním přesycení roztoku, které je tak malé, že krystal nemůže růst v souladu s teorií Kossela, protože jen malé přesycení roztoku neumožňuje založení nové vrstvy na ideálně vyvinuté krystalové ploše. Spirálový růst krystalu se projevuje tzv. růstovými spirálami na povrchu krystalových ploch [1].

1.8.1 Vliv podmínek krystalizace na růst krystalů

Rovnoměrně vyvinutý krystal je v přírodních podmínkách velmi vzácný. Vyžaduje to ideální krystalizační podmínky, které je možné dodržet zpravidla jen v laboratoři. V přírodě se setkáváme nejčastěji s tzv. různoměrným vývinem krystalů. Takové krystaly nejsou zcela pravidelné a vykazují odchylky od ideálních tvarů. Tyto jevy jsou způsobeny kolísáním teploty při krystalizaci, změnou tlakových podmínek, změnou složení výchozího roztoku nebo prouděním krystalizujícího roztoku [5].

1.9 Rozpouštění krystalů

K rozpouštění krystalů dochází obvykle při jejich styku s čistým rozpouštědlem nebo nenasyceným roztokem. Nasycený roztok může být voda, vodný roztok, tavenina nebo roztok v tavenině.

Rozpouštění je opakem růstu krystalu. K připojování částic povrchu rostoucího krystalu dochází především v místech, kde je připojení částice provázáno uvolněním co největšího množství energie. Při rozpouštění krystalu nejsnáze dochází k odtržení částic, které tvoří nerovnosti na povrchu krystalových ploch, potom následuje odtrhávání částic umístěných na rozích a hranách krystalu a nejhůře dochází k odtrhávání částic uvnitř krystalových ploch. Proto rozpouštěním často vznikají krystaly s otupenými rohy a hranami – příkladem mohou být zaoblené krystaly diamantu.

Rozpouštění krystalových ploch neprobíhá po vrstvách, ale šíří se od jednotlivých bodů, jejichž plocha na plochách krystalu je zpravidla předurčena rozmístěním defektů v krystalové struktuře. Rozpouštění se od těchto bodů šíří jak po povrchu, tak i do hloubky. Na krystalových plochách rozpouštěním vznikají tzv. lepty, jejichž geometrie závisí na struktuře rozpouštěného krystalu i na charakteru rozpouštědla [1].

1.10 Vlastnosti krystalů

Vlastnosti krystalů jsou především určeny povahou chemických prvků s jejich krystalografickou strukturou. Řada parametrů má skalární povahu jako je např. specifická hmotnost, rozpustnost ve vodě a bod tání. Ostatní významné vlastnosti

mají vektorový charakter jako např. mechanické, tepelné, optické a magnetické vlastnosti [8].

1.10.1 Mechanické vlastnosti

Mezi mechanické vlastnosti krystalů obvykle řadíme: štěpnost, tvrdost, křehkost (pružnost) a plasticitu.

Štěpnost je schopnost krystalů se štípat podle určitých krystalografických směrů. Tato vlastnost je podmíněna vnitřní stavbou krystalů a je pro daný krystal stálá a nezávislá na jeho vnějším tvaru. Je to anizotropní vlastnost krystalů. Rozlišujeme 5 druhů štěpnosti: výborná, velmi dobrá, dobrá, nedokonalá, velmi nedokonalá.

Tvrdost je schopnost krystalu odporovat vnějšímu mechanickému působení. K měření a hodnocení tvrdosti byly zavedeny konvekční metody, použitelné k praktickým účelům a přizpůsobené oborům, jimž slouží. V mineralogii i v běžné praxi používáme Mohsovu stupnici tvrdosti, založenou na tom, že pevné těleso rýpe hladký povrch tělesa měkkějšího, avšak nikdy tomu není naopak.

Standartní Mohsovu stupnici tvoří tyto minerály: mastek, sádrovec, kalcit, fluorit, apatit, ortoklas, křemen, topas, korund, diamant.

Působením vnějších sil (tažných nebo tlakových) na krystal může dojít k jeho roztržení. Průběh tohoto děje může být sledován měřením prodloužení materiálu v závislosti na měnícím se tažném napětí v krystalu. Podle průběhu této křivky rozdělujeme tělesa na pružná a plastická. První část křivky je pro všechna tělesa podobná a vyjadřuje lineární závislost napětí na prodloužení, danou Hookeovým zákonem. Za určitým bodem roste napětí pomaleji a po dosažení kritické hodnoty dojde k destrukci materiálu. Takto se chovají pružná tělesa.

Krystaly plastických látek (kovů) vykazují tzv. tečení materiálu, které se projevuje jeho prodlužováním až k dosažení kritické hodnoty, kdy se roztrhne. Pružné (křehké) jsou obecně krystaly s atomovými a iontovými vazbami, plastické jsou krystaly kovů. Vlastnosti materiálů jsou ale závislé na podmínkách, za kterých jsou zkoumány. Např. křehké materiály se za vysokých tlaků stávají plastickými apod. [8].

1.10.2 Tepelné vlastnosti

Šíření tepla v krystalu závisí od jeho symetrie. V kubických soustavách, podobně jako v amorfních látkách, je rychlost šíření tepla ve všech směrech stejná.

V krystalech tetragonální, hexagonální a trigonální soustavy je isotermickou plochou rotační elipsoid. V krystalech nejnižší kategorie symetrie (rhombická, jednoklonná a trojklonná soustava) dostaneme tříosý elipsoid různě orientovaný proti krystalografickým osám.

Tepelná vodivost reálných krystalů je též určena dokonalostí struktury, čím více je porušena struktura krystalů, tím nižší je tepelná vodivost. Naopak u krystalické struktury je vodivost vyšší než u neuspořádaného stavu.

Roztažnost krystalů při zahřívání je těsně spojena s charakterem jejich tepelné vodivosti. Velikost prodloužení krystalu při ohřátí o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ v určitém směru je charakterizována koeficientem délkové roztažnosti. Změnu objemu charakterizuje koeficient objemové roztažnosti, oba koeficienty jsou uváděny ve fyzikálně chemických tabulkách krystalů. Nerovnoměrná roztažnost krystalů střední a nižší kategorie symetrie vlivem zvyšování teploty vede ke změně velikosti úhlů mezi odpovídajícími hranicemi krystalu [8].

1.11 Vazby v krystalech

Podstatou odlišností různých typů vazeb v pevných látkách je prostorové rozložení elektronů kolem atomů, iontů nebo molekul. Vazby se realizují převážně silami elektrostatického přitahování záporných elektronů a kladných jader. Úloha sil magnetického původu je nepatrná, gravitační síly lze zcela zanedbat. Podle charakteru rozložení elektronů v prostoru se dělí krystalické pevné látky na pět hlavních skupin:

- a) iontové krystaly,
- b) valenční krystaly,
- c) van der Waalsovy krystaly,
- d) krystaly s vodíkovými vazbami,
- e) kovové krystaly [2].

1.11.1 Iontová vazba

Iontové vazby vznikají při interakci atomů, které mají nízké ionizační energie, tzn. snadno ztrácejí elektrony, s atomy o vysoké elektronové afinitě. Elektronová afinita je energie uvolněná při změně atomu v aniont.

Atomy prvního druhu odevzdávají elektrony atomům druhého typu. Tím vznikají kationty a anionty. Oba ionty mezi sebou interagují podle Coulombova zákona jako dva různé náboje. Vzniká vazba iontová nebo polární. Atomy inertních plynů mají uzavřené elektronové obaly a sférickou symetrii rozdělení elektrického náboje. Stejně rozdělení náboje lze očekávat i u každého iontu v iontovém krystalu.

Typickými představiteli iontových krystalů jsou alkalické halogenidy LiF, NaCl, KBr. K iontovým krystalům patří většina dielektrik. Elektrickou vodivost mají při pokojové teplotě až o 20 řádů nižší než kovy, s růstem teploty se vodivost zvyšuje. Z dalších vlastností je typická tvrdost, křehkost a vysoký bod tání [2].

1.11.2 Kovalentní vazba

Stabilní skupina 8 valenčních elektronů může vzniknout také sdílením elektronů společných více atomům. Při tom nevznikají ionty, atomy zůstávají elektricky neutrální. Hustota elektronů mezi atomy dosahuje vysokých hodnot. Každý atom zúčastněný na kovalentní vazbě k ní přispívá jedním elektronem. Příkladem může být diamant, křemík nebo germanium. O tom, jakou má vazba povahu, usuzujeme z elektronové hustoty. V čistě iontových krystalech je elektronová hustota nejvyšší ve středech iontů, u čistě kovalentních má hustota mezi atomy konstantní hodnotu.

Kovalentní krystaly, např. diamant, karbid křemíku, jsou tvrdé, mají vysoký bod tání a v běžných kapalinách se nerozpouštějí. Jejich struktury se vyznačují zpravidla nízkými koordinačními čísly, nemají těsná uspořádání, vodivost výrazně ovlivňují příměsi a teplota [2].

1.11.3 Van der Waalsova vazba

I v atomech a molekulách, jejichž trvalý dipólový moment je v průměru roven nule, může existovat určitý proměnlivý dipólový moment spojený s okamžitým rozdělením elektronů v atomu. Tento dipólový moment vyvolá v druhé molekule rovněž okamžitý moment. Síly vznikající z takových momentů jsou příčinou van der Waalsovy

vazby neboli molekulové vazby. Molekulární krystaly mají nízkou teplotu tání a varu, malá koordinační čísla, jsou měkké, dobře stlačitelné a málo pevné. Příklady těchto látek jsou: vzácné plyny v tuhém stavu, krystaly z nasycených molekul, jako O_2 , H_2 , HCl , CH_4 , a krystaly organické.

Molekulovým vazbám odpovídají jen velmi nízké energie, o 1 až 2 řády nižší než u valenčních nebo iontových krystalů. Van der Waalsova vazba je nejuniverzálnější. Vzniká vždy a současně s jinými vazbami [2].

1.11.4 Vodíková vazba

Protože má vodík pouze jeden elektron, zdálo by se, že nemůže být vázán s více než jedním atomem. Měly by tedy vznikat jen kovalentní skupiny typu AH , např. OH , NH , FH . Přesto jsou známé i druhé vazby, vazný atom B musí být ovšem silně elektronegativní. Silně elektronegativní atomy jsou O , N , F , Cl , S . Podstatou této vodíkové vazby je polarizace kovalentní skupiny AH . Ke straně odvrácené od A , kde bude nedostatek elektronů, může být elektrostaticky přitahován elektricky negativní atom B . V krajním případě odevzdá atom vodíku svůj elektron jednomu z obou atomů A , B a stane se slabě stíněným protonem. Vodíková vazba má pak čistě iontový charakter.

Tímto způsobem jsou vázány molekuly v mnoha molekulových krystalech. Typickým příkladem je spojení molekul H_2O v ledu [2].

1.11.5 Kovové krystaly

K tomu, aby bylo u atomů kovů dosaženo elektronové konfigurace inertního plynu, se nedostává potřebný počet valenčních elektronů. Např. atomu Cu s protonovým číslem 27 a se strukturou $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s$ chybí 1 elektron $4s$ a 6 elektronů $4p$. Vzniká tedy vazba, při níž jeden nebo více valenčních elektronů nepatří určitému atomu jako u iontové vazby, ani dvěma nebo více atomům jako u vazby kovalentní, ale celému krystalu. Tyto elektrony se pohybují poměrně volně mezi zbytky atomů a vytvářejí elektronový plyn, zajišťují vazbu mezi ionty.

Kovové struktury mají velká koordinační čísla a relativně velké meziatomové vzdálenosti. Existencí volných elektronů je podmíněna dobrá elektrická i tepelná vodivost kovů.

V reálných pevných látkách se vždy uplatňuje zároveň více typů vazeb. Ty, které jsou dominující, určují strukturu a vlastnosti pevné látky. Např. u grafitu lze předpokládat existenci vazby kovalentní, a to mezi atomy ve vrstvách rovnoběžných s podstavou šestibokého hranolu, dále vazby van der Waalsovy, a to mezi vrstvami, a vazby kovové, protože grafit má velmi dobrou vodivost [2].

1.12 Využití krystalů

Krystalizace, neboli růst krystalické struktury - monokrystalu i polykrystalu, je důležitým postupem pro mnoho technologických odvětví [11]. Využití krystalů k technickým a vědeckým účelům je stále rozsáhlejší. Klasické krystalové materiály, jejichž charakteristických vlastností lze v technické praxi použít, jako např. vápenec, kazivec v optice, křemen v elektrotechnice a hodinářství, diamant na výrobu tvrdoměrů, rydel a nožů a safír pro výrobu ložiskových kamenů, kontaktů měřidel a laserů atd., byly díky modernímu výzkumu rozmnoženy o četné krystaly, které nám příroda neposkytuje v dostatečných rozměrech, čistotě anebo vůbec [13].

Pěstování monokrystalů se využívá především v polovodičové technice, jako např. výroba tranzistorů a integrovaných obvodů, a optice, jako jsou optická vlákna, polarizační filtry. Zatímco polykrystalické struktury, dělené dle hrubosti zrna, jsou využívány například na výrobu kovových součástí, elektrických vodičů, lamel turbín a polotovarů pro stavební konstrukce, atd. [11].

1.13 Nanokrystaly

Nanokrystal je částice z krystalického materiálu o rozměru v řádu jednotek až stovek nanometrů. Nanokrystaly leží na rozhraní mezi krystalickou hmotou a molekulami. Obsahují často jen stovky atomů. Vyznačují se řadou specifických vlastností odlišných od velkorozměrových neboli objemových krystalů. Tyto vlastnosti se navíc mění spolu se změnou velikosti nanokrystalu a lze je tedy cíleně ladit [12].

1.13.1 Aplikace nanokrystalů

Nanokrystaly mají oproti objemovým krystalům velký poměr povrchu ku objemu krystalu. Jejich vlastnosti jsou tedy silně závislé na okolním prostředí. To jim dává velký potenciál v oblasti senzorů, jako jsou biologické senzory nebo senzory chemických látek.

Uvažuje se o využití nanokrystalů při výzkumu buněčných procesů, protože se jedná v měřítku buněk o dostatečně malé částičky, které lze zároveň neustále, např. opticky, sledovat. Lze na ně navázat nejrůznější látky a zkoumat, kterými částmi buňky tyto látky procházejí.

Každý materiál má navíc své vlastní specifické aplikace. Např. nanokrystalický křemík by se mohl stát důležitým materiálem pro optoelektroniku, propojení elektronického zpracování informace počítačem a optiky. Stříbro je známé svým antibakteriálním působením, které se u nanočástic ještě zvýrazňuje apod. [12].

1.13.2 Fyzikální popis nanokrystalů

Nanokrystaly leží na pomezí mezi velkou molekulou a krystalickou látkou. Z toho důvodu se používají dva přístupy k popisu dějů v nanokrystalu.

První z nich je přístup shora dolů, kdy se teorie krystalických látek upravuje pro malé rozměry nanokrystalů. Tato teorie funguje jen pro velké nanokrystaly. Pojem velký je v tomto případě relativní a liší se pro různé látky. Základním měřítkem v rozměrech nanokrystalu je poloměr excitonu, což je vázaný pár elektronu, a díry neboli kvazičástice v krystalické látce.

Druhý přístup se snaží popsat nanokrystaly metodami používanými v molekulové fyzice, např. DFT, tj. teorie funkcionálu hustoty. Tento přístup je ale možné použít pouze pro nanokrystaly obsahující řádově stovky atomů. Pro větší počty atomů je výpočet příliš složitý a časově náročný i pro současné počítače [12].

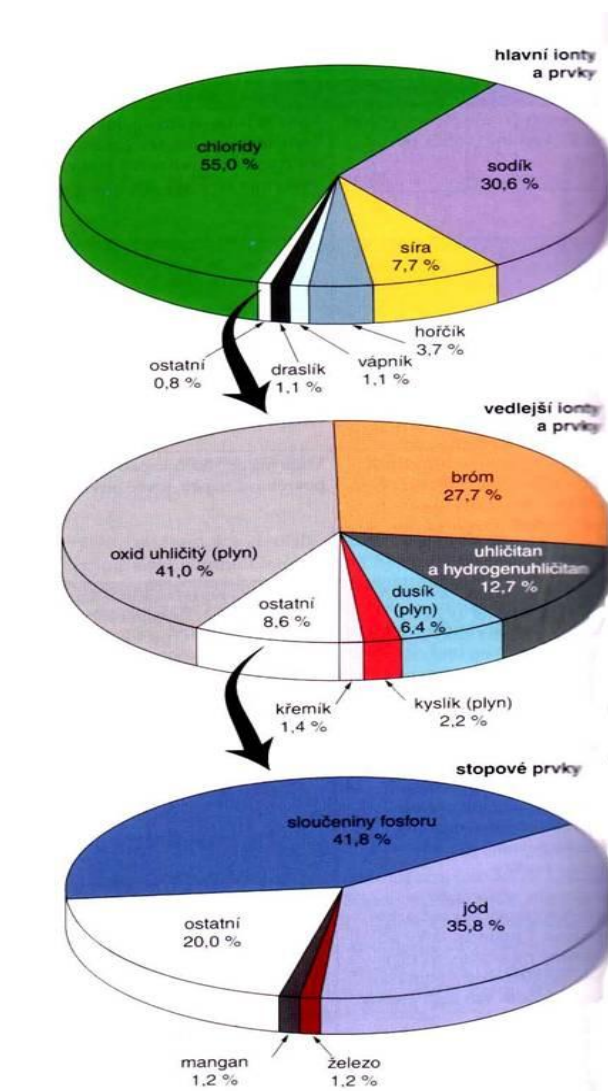
1.14 Salinita

Při získávání krystalů může slanost moře poskytnout filtrací vzorky soli pro zkoumání různých koncentrací NaCl ve vodě. NaCl je velmi levná a snadno dostupná látka, proto byla v této práci použita.

Salinita (slanost) je celkové množství pevných látek rozpuštěných ve vodě včetně plynů, protože i ty se při nízkých teplotách přeměňují do skupenství pevného [10].

Mořská voda obsahuje 96,5 % vody a 3,5 % jiných látek. Jedná se o organické složky, rozpuštěné plyny a směs solí. Mezi rozpuštěné plyny patří z 64 % dusík a z 34 % kyslík. Průměrná salinita mořské vody je 35 gramů, tj. 35 g soli v kilogramu mořské vody, přičemž 78 % tvoří chlorid sodný.

Dalšími složkami, které jsou uvedeny na obr. 6, jsou síran sodný, síran vápenatý, chlorid hořečnatý, síran hořečnatý, chlorid draselný, síran draselný, uhličitan strontnatý, zlato, mangan, stříbro, měď, nikl, kobalt, molybden, fluor, antimon, železo, křemík, selen, síra, zinek a jod. Další složky se vyskytují v množstvích příliš malých, aby se daly detekovat běžnými analytickými postupy [9].



Obr. 6 Složení mořské vody [10].

Salinita je vyšší v oblastech, kde odpařování převyšuje dešťové srážky a přítok sladké vody. Jedná se o teplá moře a moře mezi obratníky:

- Středozemní moře – 38 g na litr,
- Rudé moře – 48 g na litr.

Salinita je nižší v mořích, do kterých se vlévají velké řeky. V oblasti rovníku a středních severních a jižních zeměpisných šířek, např. Baltické a Černé moře:

- Černé moře – 19 g na litr,
- Botnický záliv – 5 g na litr [9].

2 Experimentální část

2.1 Úvod experimentální části

Experimentální pasáž je rozdělena do dvou částí. První část experimentu se zabývá vytvořením krystalů na nanovlákněné vrstvě pomocí krystalické látky chlorid sodný. Nejprve byly krystaly vytvořeny na rovinném povrchu. Roztok chloridu sodného byl dávkován v různých koncentracích. Poté byl chlorid sodný aplikován na netkanou textilií vyrobenou technologií spunbond a byl pozorován vznik krystalů na zakřivených površích. Následně byl chlorid sodný aplikován na vrstvu vláken, které vznikly pomocí elektrospiningu, byly ukládány na podkladovou textilií spunbond a opět byl pozorován vznik krystalů.

Druhá část experimentu je zaměřena na vytvoření krystalů pomocí Woodova kovu. Woodův kov byl na spunbond i na vrstvu vláken aplikován přímo na textilií nebo pomocí odpařování při vypařování Woodova kovu.

Krystaly, které vznikly na podložním sklíčku i vlákněné vrstvě, a které ulpěly na vláknech, byly pozorovány na rastrovacím elektronovém mikroskopu VEGA a vyhodnoceny na obrazové analýze Lucia G.

Experimenty byly uskutečněny v laboratorních podmínkách při teplotě 21 °C a relativní vlhkosti 20 %.

2.2 Použitá měřicí zařízení

Vlákna a vytvořené krystaly byly pozorovány rastrovacím mikroskopem a snímány a vyhodnocovány programem na obrazovou analýzu Lucia G. Nanovlákněné vrstvy byly pozorovány a snímány elektronovým mikroskopem VEGA a následně vyhodnoceny programem Lucia G.

2.2.1 Lucia G

Lucia G je softwarový systém firmy Laboratory Imaging využívaný k obrazové analýze. Program Lucia byl vyvinut pro pořizování a archivaci obrazů, interaktivní a automatizovaná měření a archivaci rozsáhlých obrazových sekvencí.

Je schopen zpracovávat a analyzovat barevné nebo černobílé obrazy. Rozlišení obrazu je 1232 x 972 obrazových bodů a hloubka obrazu činí 32 bitů na každý bod pro složky RGB. Tyto obrazy se uplatňují zejména při studiu struktury. Obrazová analýza poskytuje reprezentativní a reprodukovatelná data, která jsou typická pro studovanou strukturu a mají význam pro daný obor [14].

Měření začíná kalibrací systému. Kalibrace přiřazuje objektům jejich reálný rozměr. Pro každé měření bylo potřeba vytvořit aktuální kalibraci, která odpovídala reálnému zvětšení.

2.2.2 Rastrovací mikroskop VEGA

VEGA TS 5130 je plně počítačem řízený rastrovací mikroskop od firmy Tescan. Je určen k pozorování povrchů při velkém zvětšení s velkou hloubkou ostrosti, k zaznamenávání a archivování zvětšených obrazů ve standartním obrazovém formátu na počítačová záznamová média.

Jeho základními součástmi jsou mikroskop a řídicí jednotka mikroskopu. Řídicí jednotkou je počítač obsahující program VEGA 99.

Rastrovací elektronový mikroskop VEGA je typický vysokou rozlišovací schopností a možným zvětšením v rozmezí 20 – 500000.

Preparát, zpracovávaný na tomto zařízení, musí být před samotným snímáním upraven pokrytím tenkou vodivou vrstvou. Vrstva je nejčastěji ze zlata, popřípadě stříbra, hliníku či platiny. Při snímání se paprsek pohybuje po řádcích preparátu a vyráží sekundární elektrony, které jsou snímány sondou, převáděny na videosignál a zobrazeny na obrazovce monitoru počítače s řídicím programem [15].

Rastrovací elektronový mikroskop VEGA byl v této práci použit k získání snímků povrchu nanovláknenných vrstev a krystalů, které na nanovláknenné vrstvě vznikly. Snímky byly následně použity k vyhodnocení požadovaných vlastností. Jejich měření proběhlo v systému obrazové analýzy Lucia G.

2.3 Parametry použité látky

2.3.1 Chlorid sodný

K experimentu byl použit chlorid sodný, který má chemický vzorec NaCl. Chlorid sodný je chemická sloučenina, která se vyskytuje v přírodě v podobě nerostu halitu, a je známa pod označením sůl kamenná. Krystalický chlorid sodný je bezbarvý nebo bílý, průhledný a skelně lesklý.

Molární hmotnost NaCl činí 58,443 g/mol. Teplota tání je 801 °C. Teplota varu je 1412 °C. Hustota 2,163 g/cm³ [16].

Chlorid sodný jako surovina pro elektrochemickou výrobu chloru a sodného louhu je k dispozici v neomezeném množství. Získává se buďto z ložisek (asi 70 %), nebo z mořské vody. Při dobývání kamenné soli se částečně získá přímo 99% NaCl a zbytek tvoří jíly, anhydrit, křemen, dolomit, živec a slída. Sůl z mořské vody se získává zahušťováním solární energií. Mořská voda se zkoncentruje v první odpařovací laguně, převede se do dalšího odpařovacího stupně, kde se vylučuje síran vápenatý, a v dalším stupni vykristaluje sůl. Jeden metr čtverečný mořské vody dává asi 23 kg chloridu sodného [17].

2.3.2 Woodův kov

Woodův kov je pojmenován po americkém metalurgovi B. Woodovi, ale prodává se pod mnoha dalšími značkami. Jedná se o eutektickou slitinu čtyř kovů: cínu (13,3 %), olova (26,7 %), bizmutu (50 %) a kadmia (10 %). Eutektická slitina představuje směs tuhých roztoků s odlišným chemickým složením a často i různou strukturou. V závislosti na složení a způsobu tepelného zpracování dochází při tuhnutí slitiny ke vzniku různých mikrostruktur. Při rychlém tuhnutí tzv. eutektických materiálů se pozoruje typická dendritická lamelární morfologie.

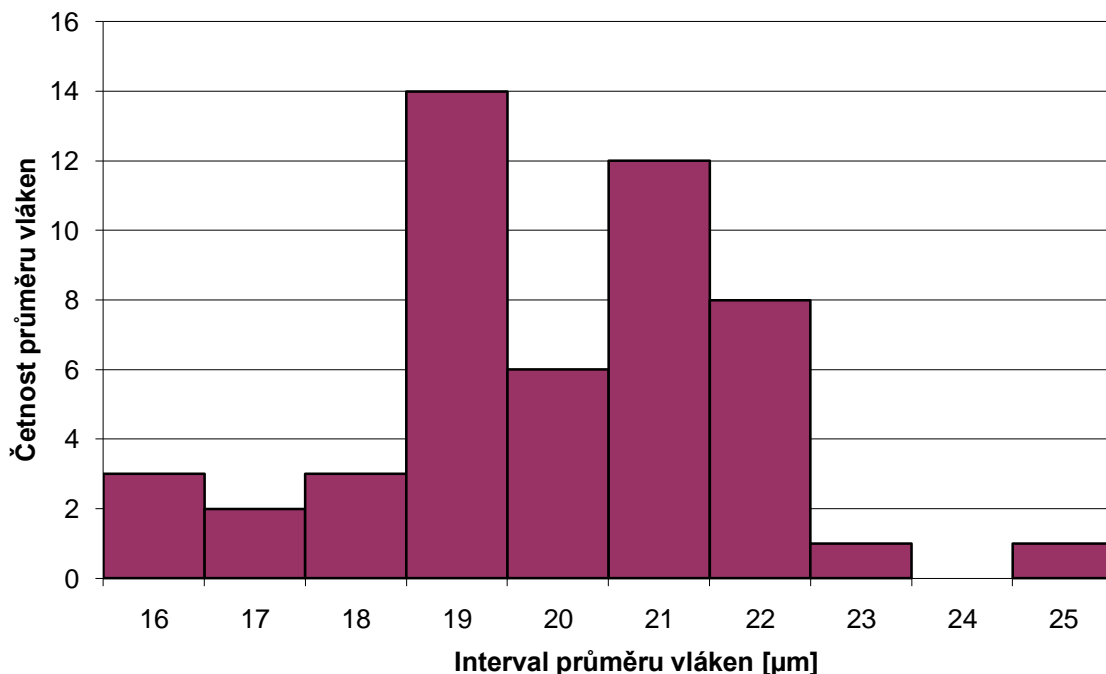
Teplota tání Woodova kovu je okolo 70°C, čehož se využívá u nízkotavitelných pájek, nejrozumnějších pojistek a požárních čidel. Ve zdravotnictví se využívá jako těsnění plynových lahví, ze kterých může unikat plyn a snižuje tak riziko výbuchu plynu.

Běžně se Woodův kov využívá při ohýbání tenkostěnných trubek, kdy se trubka naplní roztaveným Woodovým kovem, trubka se ohne a nechá se ztuhnout. Woodův kov je pak odstraněn teplem, často vařením ve vodě.

Nevýhodou Woodova kovu je jeho toxicita, protože obsahuje olovo a kadmium. V kontaktu s kůží může být škodlivý a to zejména v roztaveném stavu. Páry kadmia představují pro člověka riziko respiračních potíží, onemocnění jater, ledvin, ztráty čichu a můžou způsobit i rakovinné bujení. Alternativou Woodova kovu je Fieldův kov, který má podobně nízkou teplotu tání, ale tyto toxické složky neobsahuje. Fieldův kov je složen z: cínu (16,5 %), bismutu (32,5 %) a india (51 %) [18].

2.3.3 Textilie spunbond

Podkladová textilie byla vyrobena technologií spunbond a byla k pokusu dodána. Plošná hmotnost podkladové textilie byla 20 g/m^2 a průměr vláken činil $19,98 \text{ }\mu\text{m}$ se směrodatnou odchylkou $0,93 \text{ }\mu\text{m}$. Na přístrojích VEGA a LUCIA byly pořízeny snímky a pomocí obrazové analýzy byla zjištěna střední hodnota průměrů vláken podkladové textilie, který činí $19,98 \text{ }\mu\text{m}$ a jejichž distribuce je znázorněna v grafu 1. Pro textilií spunbond byla zjištěna poróznost, která činila 42 %. Poróznost byla zjišťována v programu Lucia Nis Elements.



Graf 1 - Distribuce průměrů průměru vláken na podkladové textili.

Z grafu 1 je patrné, že ve vlákenné vrstvě se vyskytovaly nejčteněji vlákna, které měly průměr 19 µm. Celkový průměr vláken z naměřených hodnot průměrů činil 19,98 µm.

2.3.4 Vláknenná vrstva PUR

Vláknenná vrstva byla vyrobena pomocí technologie elektrospinning. Jako zvlákňovací roztok byl použit roztok polyurethanu. K výrobě zvlákňovacího roztoku bylo zapotřebí následujících chemikálií:

110 g 30 % Larithane,
50 g dimethylformamid (DMF),
55 g tetraethylammoniumbromid (TEAB),
5 g H₂O.

Výroba vlákenné vrstvy probíhala v poloprovozu, kde byly podmínky následující: Ve zvlákňovacím zařízení byla teplota 21 °C a relativní vlhkost 20 %. Vzdálenost válečku od podkladové textilie činila 13,5 cm. Napětí, při kterém zvlákňování probíhalo, se rovnalo 80 kV. Při výrobě vláken bylo použito několika rychlostí posuvu válečku, aby se dosáhlo různých plošných hmotností a různých hodnot porózy. Rychlosti, které byly použity, byly 0,2 m/min, 0,4 m/min a 0,6 m/min.

Na vlákenných vrstvách byla vyhodnocena poróza. Poróza byla proměřena na programu NIS Elements, obrazová analýza. Poróza byla změřena na 2D snímcích, tudíž plošná, a byla vypočítána podle vzorce (2).

$$\psi = \frac{S_P}{S_C} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (2)$$

kde ψ je poróza, S_P je plocha vyplněná póry a S_C je celková plocha vlákenné vrstvy.

Průměry z naměřených vláken, plošné hmotnosti a poróza, které byly zjištěny a vypočteny jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Plošná hmotnost a porózita nanovlákné vrstvy v závislosti na odtahové rychlosti podkladové textilie.

Odtahová rychlost [m/min]	Plošná hmotnost vlákné vrstvy [g/m ²]	Porózita [%]	Střední hodnota průměrů vláken [μm]	Směrodatná odchylka průměrů průměru vláken [μm]
0,2	1,15	47	0,17	0,08
0,4	0,78	57	0,22	0,06
0,6	0,38	66	0,18	0,06

Vlákné vrstvy byly podrobeny stejné analýze jako podkladová textilie. Snímky byly pořízeny na elektronovém mikroskopu VEGA a dále byly zhodnoceny na obrazové analýze Lucia G. V programu NIS Elements byla proměřena porózita.

Plošné hmotnosti vlákných vrstev se se zvyšující odtahovou rychlostí snižují a porózita se zvyšuje. Průměr z naměřených průměrů vláken byl proměřen z 50 měření na obrazové analýze Lucia a je patrné, že při odečtení či přičtení směrodatné odchylky, se průměr z naměřených průměrů vláken nemění s měnící se odtahovou rychlostí. Můžeme tedy konstatovat, že průměrná velikost průměrů vlákné vrstvy činí 0,19 μm se směrodatnou odchylkou 0,07 μm.

2.4 Průběh první části experimentu

V první části experimentu byl nejprve zkoumán vznik krystalů na rovinném povrchu. Pro tento pokus byly použity roztoky o různých koncentracích NaCl, a to vzestupně od 1 g/l až po 50 g/l. Poté byly roztoky NaCl, které vykazovaly vznik pravidelných krystalů, použity i na textilií spunbond a následně na vláknou vrstvu.

Krystaly, které vznikly, byly vyhodnoceny ze snímků z rastrovacího elektronového mikroskopu VEGA a z obrazové analýzy Lucia G.

2.4.1 Příprava roztoků NaCl

K experimentu bylo potřeba vytvořit různé roztoky koncentrací NaCl. Koncentrace byly vytvořeny od 1 g/l do 50 g/l. Jako chemikálie byly použity destilovaná voda a NaCl. Množství použitého chloridu sodného jsou udány v tab. 3.

Tab. 3 Koncentrace NaCl v destilované vodě.

Koncentrace NaCl v destilované vodě [g/l]	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50
Množství NaCl [g]	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Množství vody [ml]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

2.4.2 Úhel smáčení

V experimentu bylo zapotřebí spočítat průměrný úhel smáčení aplikované kapky roztoku NaCl a destilované vody a úhel smáčení Woodova kovu. Úhel smáčení je důležitý pro rozložení kapaliny na vlákenné vrstvě i na spunbondu. Měří vlastnosti fázového rozhraní pevná látka/kapalina/plyn. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 4, byly vyhodnoceny na obrazové analýze Lucia G.

Tab. 4 Úhel smáčení kapky roztoku NaCl a Woodova kovu.

Druh vlákenné vrstvy	NaCl + destilovaná voda		Woodův kov	
	Úhel smáčení [°]	Směrodatná odchylka [°]	Úhel smáčení [°]	Směrodatná odchylka [°]
Textilie spunbond	71,3	7,7	76,3	8,1
Vlákenná vrstva PUR	15,8	2,3	72,8	4,7
Vlákenná vrstva s přídavkem PAL do zvlákňovacího roztoku	X	X	78	4,8

Z tab. 4 plyne, že při aplikaci kapky roztoku NaCl a destilované vody na textilií spunbond, je hodnota úhlu smáčení vysoká a činí 71,3 °. Je to způsobeno vysokým povrchovým napětím, které působí mezi vlákny textilie spunbond a aplikovanou

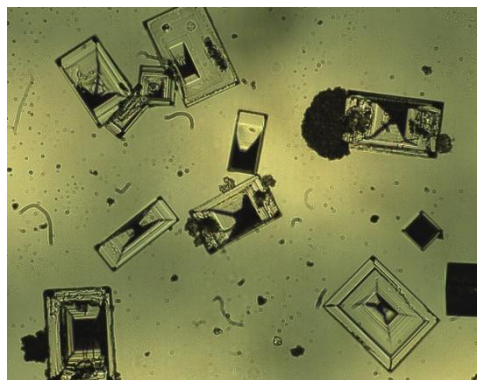
kapalinou. Kapka roztoku NaCl na vlákenné vrstvě PUR vykazuje úhel smáčení $15,8^\circ$, tudíž můžeme tvrdit, že kapalina se do vlákenné vrstvy dostane lépe. Na vlákenné vrstvě s přídavkem povrchově aktivní látky nebyl úhel smáčení s NaCl měřen, poněvadž roztok NaCl byl vlákennou vrstvou dokonale absorbován.

Úhel smáčení Woodova kovu se na všech měřených textiliích pohybuje přibližně ve stejných hodnotách. Úhel smáčení na textilií spunbond byl naměřen $76,3^\circ$, na vlákenné vrstvě PUR $72,8^\circ$ a na vlákenné vrstvě s přídavkem povrchově aktivní látky 78° .

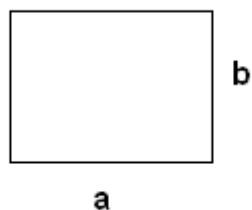
2.4.3 Vytváření krystalů na rovinném povrchu

Nejprve byly krystaly vytvářeny na podložním sklíčku. Mikropipetou byla kapka roztoku NaCl a destilované vody o velikosti $5\ \mu\text{l}$ nanесena na podložní sklíčko a byla ponechána v laboratorních podmínkách, tedy při 21°C a relativní vlhkosti 20 %. Vzniklé krystaly byly zkoumány na obrazové analýze Lucia G.

Krystaly, které byly vytvořeny na podložním sklíčku, vykazovaly pravidelnou strukturu obdélníkovitého tvaru. Vyskytly se tam i nepravidelné konstrukce krystalů. Na obr. 7 je uveden vznik krystalů při koncentraci 8 g/l a ostatní snímky jsou uvedeny v příloze A. Velikosti krystalů jsou uvedeny v tab. 5. Krystaly jsou ve tvaru obdélníku se stranami a a b (obr. 8). V grafu 2 jsou znázorněny plochy krystalů jednotlivých koncentrací.



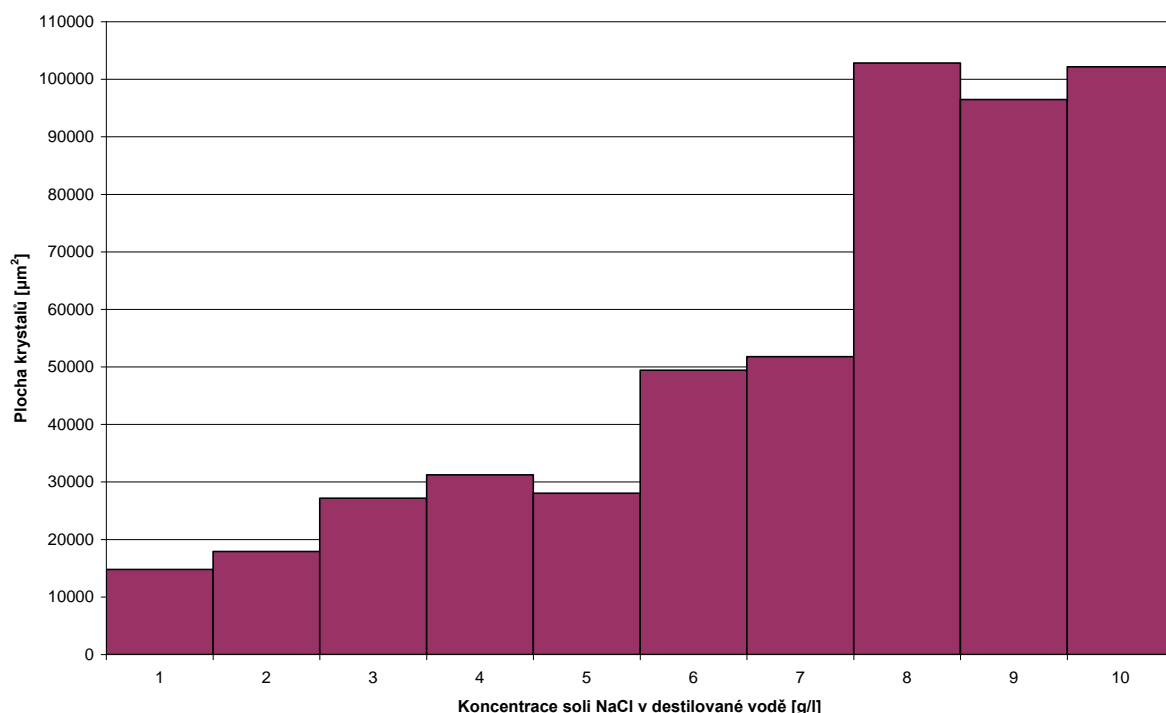
Obr. 7 Krystaly vytvořené na rovinném povrchu při koncentraci NaCl 8 g/l.



Obr. 8 Rozměry krystalů.

Tab. 5 Velikosti krystalů na podložním sklíčku.

Koncentrace NaCl	Rozměry krystalů [μm]		Měrný povrch krystalů [μm^2]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
1 g/l	a = 132,05	36,21	14776,40
	b = 111,90	23,36	
2 g/l	a = 144,95	77,00	17894,08
	b = 123,45	45,68	
3 g/l	a = 181,00	85,23	27168,10
	b = 150,10	60,83	
4 g/l	a = 189,50	84,11	31220,13
	b = 164,75	74,33	
5 g/l	a = 175,55	83,62	28052,89
	b = 159,80	80,72	
6 g/l	a = 241,15	138,59	49427,30
	b = 205,05	109,94	
7 g/l	a = 248,05	87,14	51755,63
	b = 208,65	74,57	
8 g/l	a = 344,10	169,93	102799,88
	b = 298,75	165,32	
9 g/l	a = 347,25	185,35	96466,05
	b = 277,80	150,38	
10 g/l	a = 352,65	98,23	102155,65
	b = 289,68	76,14	



Graf 2 - Velikost plochy krystalů, vytvořených na rovinných površích, v závislosti na koncentraci soli NaCl v destilované vodě.

Z grafu 2 vyplývá, že průměrně největší plochy krystalů se dosahuje při koncentraci roztoku 8 g/l. Za ní následuje koncentrace 10 g/l, dále 9 g/l a potom sestupně od 7 g/l až 1 g/l.

2.4.4 Tvorba krystalů na textilií Spunbond

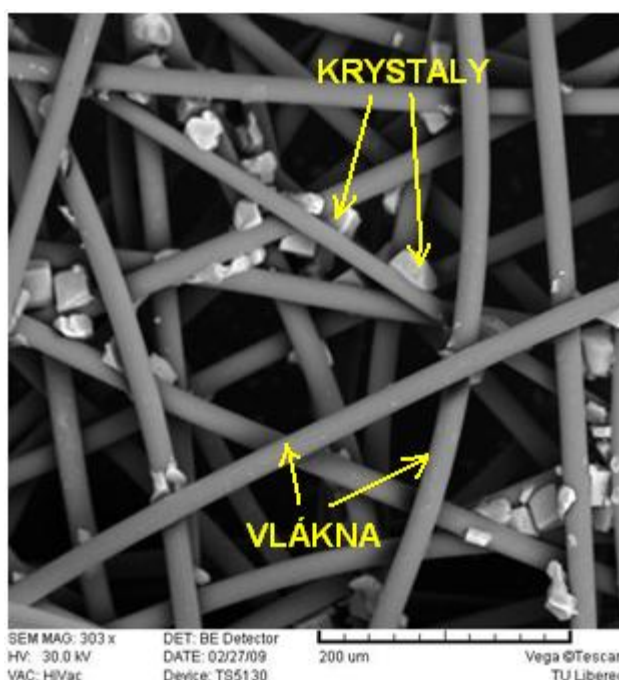
Textilie spunbond byla připevněna na podložní sklíčko, tak aby se textilie podložního sklíčka nedotýkala a kapka se do ní nevsákla (obr. 9). Na vzorek byla aplikována kapka o velikosti 5 μ l. Takto připravený vzorek byl ponechán v laboratorních podmínkách. Snímky vysušeného vzorku byly pořízeny na rastrovacím mikroskopu VEGA. Krystaly byly zkoumány na obrazové analýze Lucia, kde byly i spočítány měrné povrchy.

V následujících pokusech byly zkoumány koncentrace 1 g/l, 2 g/l, 3 g/l a 4 g/l.



Obr. 9 Kapka na textilii spunbond připevněné na podložním sklíčku.

Krystaly vytvořené na spunbondu vznikaly samostatně na jednotlivých vláknech (obr. 10). Při vzniku krystalů u koncentrace 1 g/l byly krystaly vytvořeny na jednotlivých vláknech spunbondu. Jejich tvar přibližně připomínal krychli. U koncentrace 2 g/l byl pozorován hojnější výskyt krystalů, které byly vytvořeny na textilii spunbond. Při koncentraci 3 g/l byly krystaly vytvořeny ve shlucích, ale i tam byla pozorována symetrie krystalů. Krystaly byly vytvořeny jak na vláknech, tak byly spojeny i s jinými krystaly. U koncentrace 4 g/l byly krystaly vytvořeny opět na vláknech spunbondu, ale byl zde pozorován výskyt krystalů, u nichž jeden rozměr převyšoval ostatní rozměry. Krystaly byly vytvořeny podél vlákna a připomínaly kvádr.



Obr. 10 Krystaly vytvořené na textilii Spunbond z roztoku NaCl.

Snímky krystalů, vytvořených na hydrofobní textilii spunbond, jsou uvedeny v příloze B. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Velikost krystalů vytvořených na textilií spunbond.

Koncentrace NaCl	Rozměry krystalů [μm]		Měrný povrch krystalů [μm^2]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
1 g/l	a = 16,67	10,12	166,70
	b = 10,00	6,07	
2 g/l	a = 23,57	12,95	334,69
	b = 14,20	7,44	
3 g/l	a = 52,10	24,47	1461,41
	b = 28,05	12,53	
4 g/l	a = 31,55	20,96	338,07
	b = 12,30	5,11	

Krystaly se tvořily na vláknech samostatně i ve shlucích. Největší plochy krystalů bylo dosaženo s koncentrací NaCl 3 g/l a to $1461 \mu\text{m}^2$. Zatímco u koncentrací 2 g/l a 4 g/l byla hodnota plochy krystalů vyčíslena jako $335 \mu\text{m}^2$ a u koncentrace NaCl 1 g/l došlo k vytvoření krystalů o ploše $167 \mu\text{m}^2$.

2.4.5 Tvorba krystalů na nanovlákně vrstvě

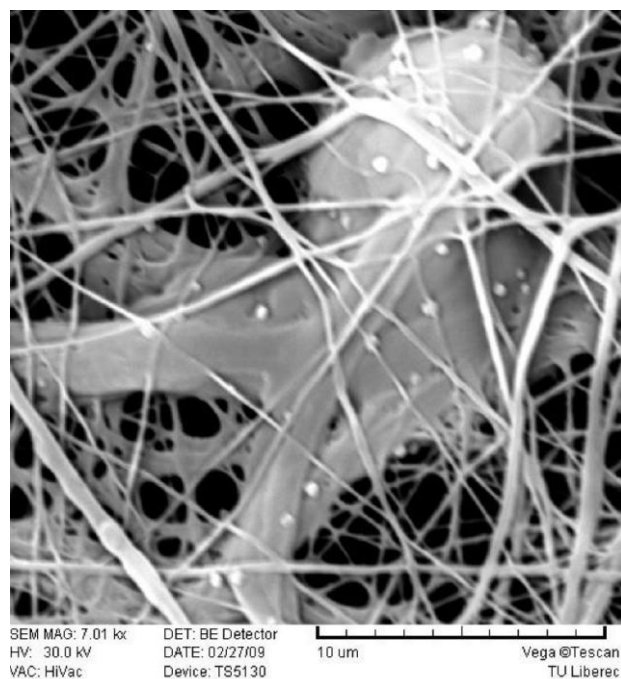
Na textilií spunbond byla technologií elektrospinning nanesena nanovlákně vrstva a opět na ni byl nanesen mikropipetou roztok NaCl v koncentracích od 1g/l až 4 g/l . Vzorky byly připraveny stejným postupem jako vzorky popsané v kapitole 2.4.4. Podle obr. 6. Snímky krystalů byly pořízeny na rastrovacím mikroskopu VEGA a zkoumány na obrazové analýze Lucia.

Velikosti krystalů, které byly vytvořeny na vlákenné vrstvě s plošnou hmotností $1,15 \text{ g/m}^2$ a porózitou vlákenné vrstvy 47 %, jsou uvedeny v tab. 7 a snímky nanovlákněných vrstev s touto plošnou hmotností a krystaly jsou uvedeny v příloze C.

Tab. 7 Velikost krystalů vytvořených na nanovlákně o plošné hmotnosti 1,15 g/m² a porózitě 47 %.

Koncentrace NaCl	Rozměry krystalů [μm]		Měrný povrch krystalů [μm²]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
1 g/l	a = 0,51	0,09	0,209
	b = 0,41	0,09	
2 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		
3 g/l	a = 0,46	0,11	0,179
	b = 0,39	0,10	
4 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		

Krystaly, vytvořené na nanovlákně o plošné hmotnosti 1,15 g/m² a porózitě 47 %, byly zaznamenány pouze u koncentrací NaCl 1 g/l a 3 g/l. U koncentrace NaCl 1 g/l došlo k vytvoření krystalů, kdy krystaly byly rozmístěny v hojném počtu na vláknech a dosahovaly různých velikostí. Průměrná hodnota povrchů byla vypočtena jako 0,209 μm². U koncentrace 2 g/l na vlákně nebyly krystaly nalezeny. Na vlákně s koncentrací NaCl 3 g/l byly krystaly pozorovány na shluku shluků vlákně. V některých místech nanovlákně se vyskytovaly defekty vláken, kdy nebyla patrna jen vlákna, ale shluky vláken, které byly spojeny do větších shluků. U krystalů na shlucích vláken (obr. 11) byl změřen povrch a jejich průměrná hodnota činí 0,179 μm². Koncentrace NaCl 4 g/l byla při tvorbě krystalů neúspěšná. Krystaly zde nebyly nalezeny, stejně jako u koncentrace 2 g/l.



*Obr. 11 Krystaly na shlucích nanovláknenné vrstvy o porózitě 47%.
Koncentrace NaCl činila 3 g/l.*

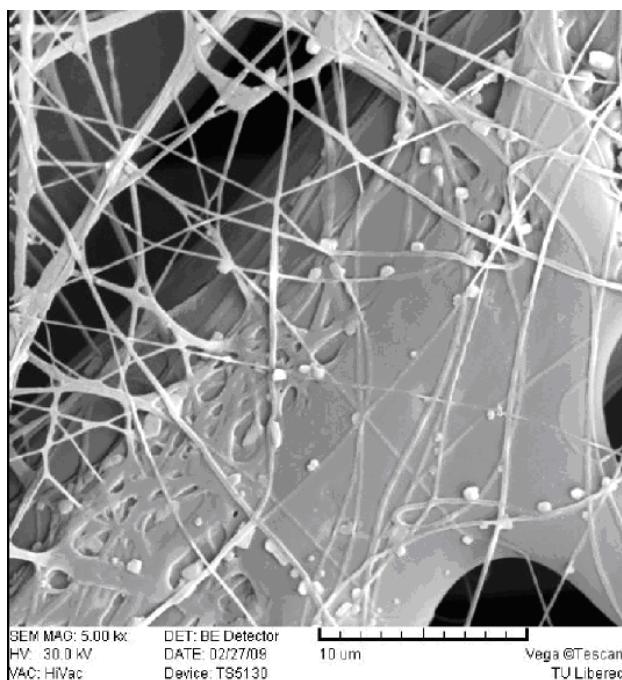
Kapka roztoku NaCl o různých koncentracích, v rozmezí 1 g/l až 4 g/l, byla nanesena i na nanovláknennou vrstvu o plošné hmotnosti $0,78 \text{ g/m}^2$ a porózitě 57 %. Velikosti plochy krystalů, které byly vytvořeny, jsou uvedeny v tab. 8 a snímky jsou v příloze D.

Tab. 8 Velikost krystalů vytvořených na nanovláknenné vrstvě o plošné hmotnosti $0,78 \text{ g/m}^2$ a porózitě 57 %.

Koncentrace NaCl	Rozměry krystalů [μm]		Měrný povrch krystalů [μm^2]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
1 g/l	a = 0,78	0,16	0,429
	b = 0,55	0,13	
2 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		
3 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		
4 g/l	a = 0,81	0,18	0,494
	b = 0,61	0,14	

Na nanovláknenné vrstvě o plošné hmotnosti $0,78 \text{ g/m}^2$ a porózitě 57 % došlo k vytvoření krystalů při použití roztoku koncentrace NaCl 1 g/l a 4 g/l. U koncentrací 2 g/l a 3 g/l nebyl vznik krystalů pozorován. Z koncentrace 1 g/l i 4 g/l

vznikly krystaly převážně na shluku vláken nanovlákněné vrstvy (obr. 12). Na jednotlivých vláknech byly krystaly také nalezeny, ale již v menší míře. Obě koncentrace vykazovaly vznik krystalů o podobné ploše, a to $0,429 \mu\text{m}^2$ při koncentraci NaCl 1 g/l a $0,494 \mu\text{m}^2$ při koncentraci 4 g/l.



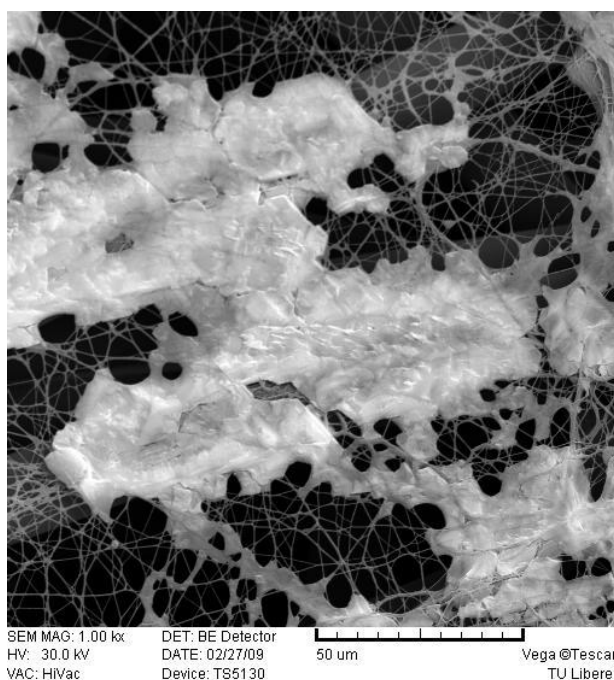
Obr. 12 Krystaly na shluku nanovlákněné vrstvy o porózitě 57 %, při použití koncentrace NaCl 1 g/l.

Na třetí nanovlákněnou vrstvu o plošné hmotnosti $0,38 \text{ g/m}^2$ a porózitě 66 %, byla taktéž aplikována kapka s roztokem NaCl a destilované vody. Použity byly opět koncentrace 1 g/l až 4 g/l. Velikosti krystalů, které vznikly odpařením vody, byly změřeny a sepsány do tab. 9. Snímky nanovlákněné vrstvy s krystaly jsou uvedeny v příloze E.

Tab. 9 Velikost krystalů vytvořených na nanovlákněné vrstvě o plošné hmotnosti $0,38 \text{ g/m}^2$ a porózitě 66 %.

Koncentrace NaCl	Rozměry krystalů [μm]		Měrný povrch krystalů [μm^2]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
1 g/l	a = 0,87	0,25	0,583
	b = 0,68	0,15	
2 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		
3 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		
4 g/l	Krystaly nebyly vytvořeny		

Z tab. 9 je patrné, že při zkoumání nanovlákněné vrstvy o plošné hmotnosti $0,38 \text{ g/m}^2$ a porózitě 66 %, došlo k vytvoření krystalů pouze při použití roztoku NaCl a destilované vody v koncentraci 1 g/l. Krystaly byly vytvořeny jak na shlucích vláken nanovlákněné vrstvy, tak na samotných vláknech. Velikost plochy těchto krystalů činí $0,582 \mu\text{m}^2$. Při použití koncentrace NaCl 2 g/l nebyly krystaly v měřeném úseku zaznamenány. Naopak u koncentrace NaCl 3 g/l byla na vlákněné vrstvě pozorována souvislá vrstva NaCl, která však nemohla být proměřena, neboť krystaly nebyly ojednoceny (obr. 13). Koncentrace NaCl 4 g/l, stejně jako koncentrace 3 g/l, nevedla k vytvoření krystalů.



Obr.13 Shluk NaCl o koncentraci 3 g/l na nanovlákněné vrstvě o porózitě 66 %.

2.4.6 Tvorba krystalů na nanovlákně s povrchově aktivní látkou

Na nanovlákněných vrstvách, které byly popsány v kapitole 2.4.5, nedošlo k vytvoření krystalů u všech porózit. Bylo to způsobeno absorpcí kapky do vlákně vrstvy. Některá kapka s roztokem NaCl se do vlákně vrstvy vsákla celá a jiná se nevsákla. Nedošlo tudíž k rozprostření roztoku po vlákně vrstvě a krystaly tak nemohly vznikat. Pro docílení toho, aby se kapka vsákla, byla připravena nanovlákněná vrstva s povrchově aktivní látkou (dále jen PAL) ve zvláknovacím roztoku, pro jejíž přípravu byly zapotřebí následující chemikálie:

110 g 30 % Larithane,
0,083 g 1 % Slovasol (PAL),
50 g dimethylformamid (DMF),
55 g tetraethylammoniumbromid (TEAB),
5 g H₂O.

Na textilií spunbond byla technologií elektrospinning nanesena nanovlákněná vrstva s povrchově aktivní látkou a byl na ni nanesen mikropipetou roztok NaCl. Při aplikaci kapky na vlákněnou vrstvu s PAL bylo pozorováno, že se kapka vsakovala do nanovlákněné vrstvy a úhel smáčení byl téměř nulový. Vzorky byly připraveny stejným postupem jako vzorky popsané v kapitole 2.4.4. podle obr. 9.

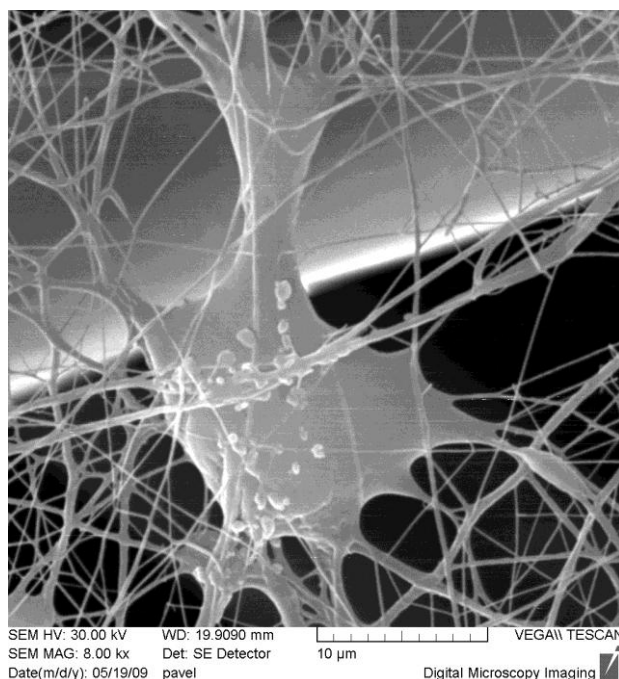
Snímky byly pořízeny na rastrovacím mikroskopu VEGA a dále byly zkoumány na optickém mikroskopu Lucia. Na vlákněných vrstvách byla v programu Nis elements proměřena poróznost. Změřené plochy krystalů jsou uvedeny v tab. 10 a snímky v příloze F.

Tab. 10 Velikost plochy krystalů, vytvořených na vlákenných vrstvách s přidavkem povrchově aktivní látky do zvláknovacího roztoku, v závislosti na porózitě. Koncentrace roztoku NaCl 4 g/l.

Koncentrace NaCl [g/l]	Měrný povrch krystalů [μm^2]		
	Nanovláknenná vrstva s PAL o porózitě 50 %	Nanovláknenná vrstva s PAL o porózitě 56 %	Nanovláknenná vrstva s PAL o porózitě 61 %
1	X	0,31	X
2	X	X	0,29
3	X	X	X
4	0,36	0,34	X

Při krystalizaci roztoku NaCl na nanovláknenné vrstvě s povrchově aktivní látkou došlo k tvorbě krystalů pouze u některých vzorků. Na nanovláknenných vrstvách se tvořily shluky krystalů NaCl. U některých nanovláknenných vrstev byly samostatné krystaly nalezeny na shlucích vláken a i na nanovláknenech samotných (obr. 14).

Krystaly na nanovláknenné vrstvě s PAL, které byly změřeny na jednotlivých nanovláknenech, dosahovaly podobných velikostí jako krystaly na nanovláknenné vrstvě PUR. Jejich velikost se pohybovala v rozmezí 0,29 – 0,36 μm^2 .



Obr. 14 Krystaly na shluku nanovláknenné vrstvy s PAL, o porózitě 57%, při použití koncentrace NaCl 4 g/l.

2.4.7 Diskuze výsledků tvorby krystalů na vlákenné vrstvě PUR pomocí roztoků NaCl

Experiment vyšetřoval vznik krystalů z roztoku NaCl v destilované vodě na nanovlákných vrstvách s různými plošnými hmotnostmi. Jako použité roztoky byly použity čtyři různé koncentrace roztoku NaCl v destilované vodě. Jednalo se o koncentrace 1-4 g/l. Výsledné plochy krystalů ze všech koncentrací byly vypočítány a zpracovány do tabulky (tab. 11) a vyneseny do grafu 3.

Tab. 11 Měrný povrch krystalů vytvořených na nanovlákných vrstvách s různou plošnou hmotností a porózitou.

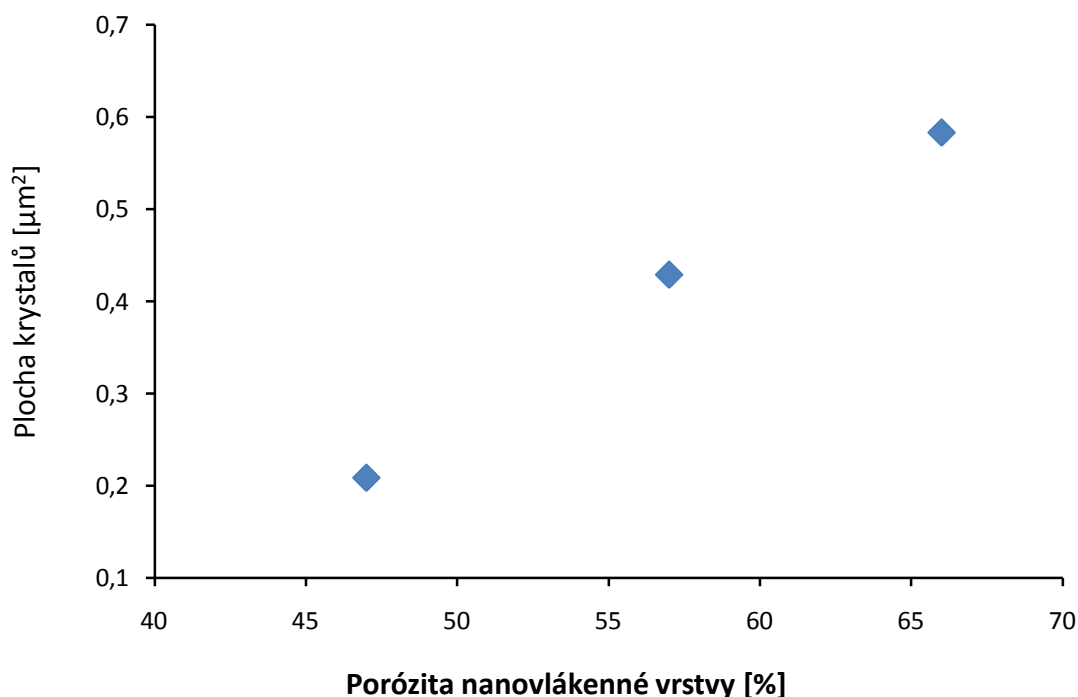
Koncentrace NaCl [g/l]	Měrný povrch krystalů [μm^2]			
	Textilie Spunbond s plošnou hmotností 19,98 g/m ² a porózitou 42 %	Nanovlákná vrstva s plošnou hmotností 1,15 g/m ² a porózitou 47 %	Nanovlákná vrstva s plošnou hmotností 0,78 g/m ² a porózitou 57 %	Nanovlákná vrstva s plošnou hmotností 0,38 g/m ² a porózitou 66 %
1	166,70	0,209	0,429	0,583
2	334,69	X	X	X
3	1461,41	0,179	X	X
4	338,07	X	0,494	X

Velikosti ploch u vzniklých krystalů se pohybovaly v rozmezí od 0,179 μm^2 do 0,583 μm^2 . Krystaly byly vytvořeny pouze u některých koncentrací. To však nebylo způsobeno rozdílnou koncentrací NaCl ve vodě, ale bylo to zapříčiněno hydrofobitou podkladové textilie. U některých případů došlo k tomu, že se kapka vsákla, tudíž pronikla do vlákenné vrstvy a došlo tak k vytvoření krystalů. Tam, kde se kapka nevsákla, nebyly krystaly vytvořeny.

Pro zabezpečení toho, aby se kapka do nanovlákné vrstvy vsákla, byla do experimentu zařazena pasáž s aplikací roztoku NaCl a destilované vody na nanovláknou vrstvu, která je hydrofilní. Na nanovlákné vrstvě s povrchově aktivní látkou, u níž byla kapka roztoku NaCl rovnoměrně rozprostřena, nedošlo k vytvoření krystalů u všech porózit a koncentrací, jak bylo předpokládáno. Z experimentu tedy vyplývá, že hydrofobita na tvorbu krystalů nemá vliv.

Z tab. 11 je patrné, že na velikost krystalu má zásadní vliv průměr vlákna. Krystaly, které byly vytvořeny na textilií spunbond dosahovaly velikostí přibližně 1000 krát větších rozměrů než krystaly vytvořené na nanovlákněné vrstvě. Tato skutečnost mohla být ovlivněna úhlem smáčení, který činil na podkladové textilií 71,3 ° a na nanovlákněné vrstvě pouze 15,8 °. Roztok se do nanovrstvy vsáknul lépe a kapalina tak byla rozprostřena na větší ploše než u textilie spunbond. Na nanovrstvě byly tedy vytvořeny krystaly s malou měrnou plochou.

V grafu 3 je uvedena závislost velikosti povrchu krystalů na porózitě nanovlákněných vrstev. Jedná se o koncentraci roztoku NaCl 1 g/l. Z grafu 3 je patrné, že se zvyšující se porózitou, plocha krystalů roste, to znamená, že se tvoří větší krystaly. Čím větší bude poróza, tím větší krystaly se budou tvořit, a čím větší bude měrná hmotnost, tím budou vytvořené krystaly menší.



Graf 3 - Závislost velikosti povrchu krystalů, vytvořených z roztoku o koncentraci NaCl 1 g/l, na porózitě nanovlákněné vrstvy.

Krystaly, které byly vytvořeny z roztoku NaCl, nevykazovaly rozdílné velikosti ploch krystalů. Různé koncentrace, které byly použity, tedy nemají vliv na velikost krystalů. Jednalo se o koncentrace roztoku NaCl v destilované vodě 1-4 g/l.

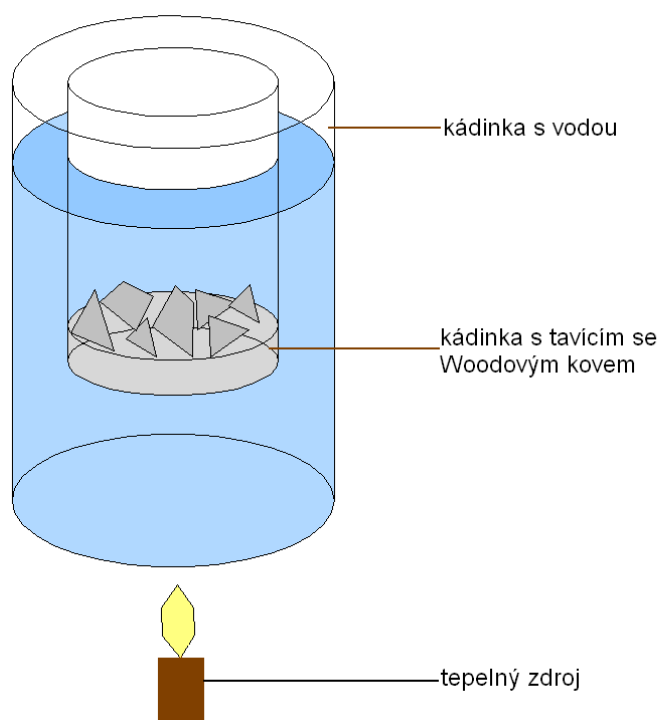
2.5 Průběh druhé části experimentu

Pro druhou část experimentu byl hlavní součástí Woodův kov. Stejně jako roztok soli NaCl byl aplikován na vlákennou vrstvu a byl pozorován vznik krystalů. Jelikož byla s Woodovým kovem složitější manipulace, musel být použit jiný postup aplikace Woodova kovu na textilií. Woodův kov byl nejprve při 80°C roztaven a následně byl nanesen na textilií a vlákna.

Krystaly, které vznikly, byly vyhodnoceny ze snímků z rastrovacího elektronového mikroskopu VEGA a z obrazové analýzy Lucia G.

2.5.1 Tvorba krystalů s Woodovým kovem

Woodův kov byl rozpuštěn ve vodní lázni zahřáté na 80 °C, podle schématu na obr. 15. Poté byl Woodův kov aplikován na vlákenné vrstvy s různou měrnou hmotností. Aplikace kovu na vlákennou vrstvu byla provedena v různých variantách.



Obr. 15 Schéma rozpouštění Woodova kovu v kádinkách

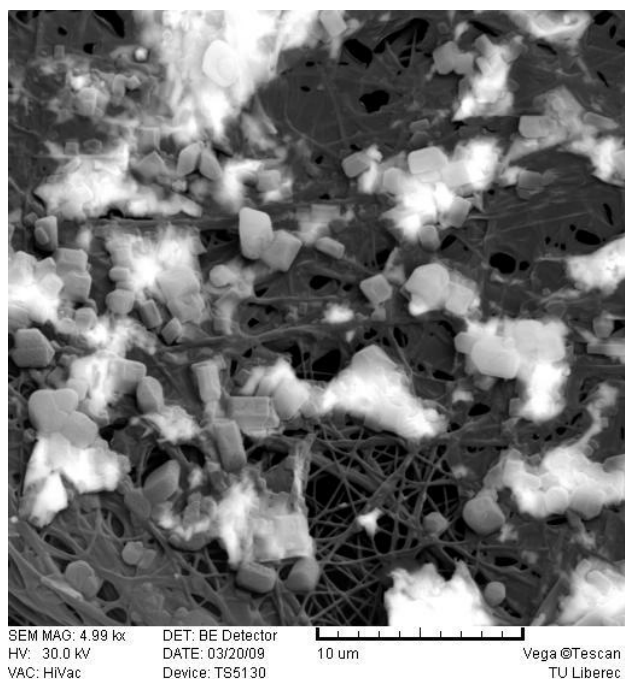
První varianta aplikace kovu byla provedena následovně: Proužek podkladové textilie s vláknennou vrstvou byl ponořen do Woodova kovu přehřátého na teplotu 80 °C a následně z něj byl vyňat. Na textilií ulpěly částičky Woodova kovu, jejichž snímky byly pořízeny na rastrovacím mikroskopu. Hodnoty velikosti krystalů byly hodnoceny na mikroskopu Lucia a jsou zpracovány v tab. 12, snímky z rastrovacího mikroskopu jsou uvedeny v příloze G.

Tab. 12 Krystaly vytvořené pomocí Woodova kovu na nanovláknenných vrstvách s různou porózitou. Podkladová textilie s nanovláknennou vrstvou byla namočená do Woodova kovu a následně z něj byla vyňata.

Poróznost [%]	Rozměry krystalů [μm]		Měrný povrch krystalů [μm ²]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
47	0,20	0,15	0,20
57	0,79	0,23	0,79
66	Krystaly neproměřeny		
Čistý SB 42%	4,10	1,21	4,10

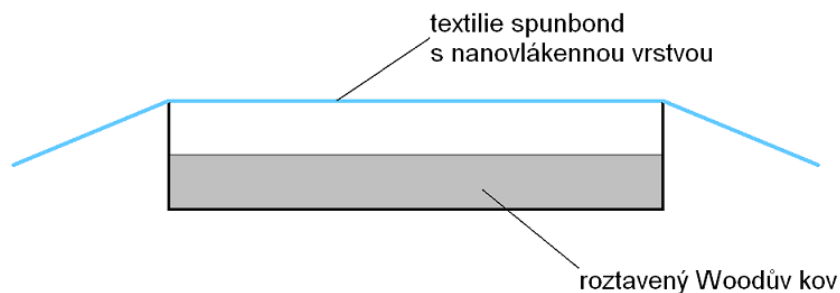
Stejně jako u krystalů vzniklých z roztoku NaCl a destilované vody, byl u pokusů s Woodovým kovem měrný povrch krystalů vztáhnutý na porózitu nanovláknenné vrstvy neboli jeho plošnou hmotnost. U aplikace Woodova kovu nalitím na vláknennou vrstvu a následným vyjitím byly na nanovláknenné vrstvě vytvořeny krystaly, kdy u poróznosti 47 % dosahovaly velikosti 0,20 μm² a u poróznosti 57 % velikosti 0,79 μm². Částice Woodova kovu byly uchyceny na nanovláknenné vrstvě i na podkladové textilií, do které difundovaly. Na nanovláknenných vrstvách se tvořily i větší shluky krystalů, které vznikly spojením více nadifundovaných částic Woodova kovu. Krystaly vznikaly jak ojednoceny, tak ve shlucích (obr. 16). U poróznosti 66 % byly zaznamenány pouze shluky krystalů Woodova kovu, jejichž povrchy nebylo možno jednotlivě změřit. Na textilií Spunbond byly vytvořeny krystaly o velikosti plochy 4,10 μm².

Z tab. 12 vyplývá, že s rostoucí porózitou velikost povrchu krystalů roste.



Obr. 16 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na nanovláknenné vrstvě o porózitě 57% aplikací namočení vláknenné vrstvy do Woodova kovu a vyjmutí z něj.

Další varianta preparátů s Woodovým kovem byla připravena následujícím způsobem: Woodův kov byl roztaven na teplotu 80 °C a byl nalit do petryho misky, přes petryho misku byla natažena podkladová textilie s nanovláknennou vrstvou, kdy nanovláknenná vrstva byla aplikována směrem k hladině Woodova kovu (obr. 17). Textilie byla zatížena a byla vložena do sušárny, kde byla ponechána 2 hodiny.



Obr. 17 Schéma odpařování Woodova kovu na nanovláknennou vrstvu

Odpařováním Woodova kovu difundovaly do textilie částice Woodova kovu, jejichž snímky byly pořízeny na elektronovém mikroskopu a zkoumány na obrazové analýze Lucia. Snímky jsou uvedeny v příloze H. Povrch krystalů nebyl v tomto případě

měřen na obrazové analýze jako obdélník či čtverec, ale jako nepravidelná oblast, protože krystaly vytvořené touto metodou vykazovaly nepravidelný tvar.

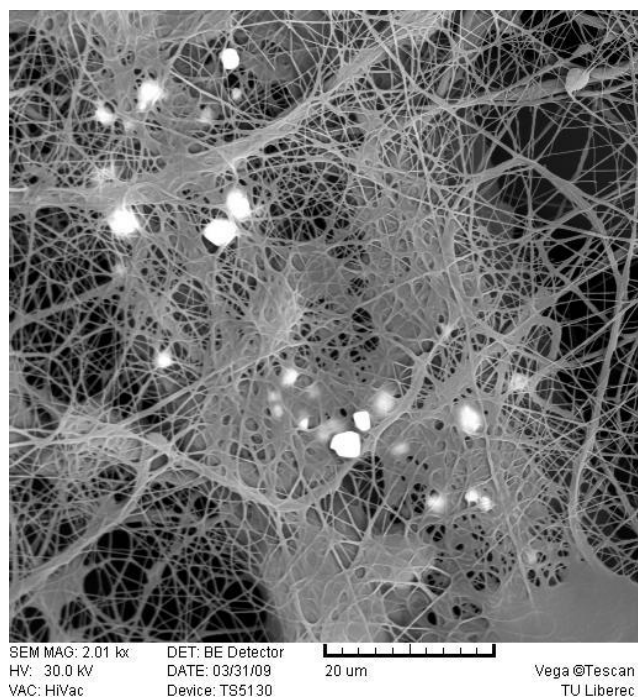
Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 13 Krystaly vytvořené pomocí Woodova kovu na nanovlákněných vrstvách s různou porózitou. Woodův kov byl odpařován na nanovlákněnou vrstvu.

Poróznost [%]	Rozměry krystalů [μm^2]		Měrný povrch krystalů [μm^2]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
47	1,14	0,35	1,14
57	2,97	0,65	2,97
66	3,43	0,93	3,43
Čistý SB 42%	14,40	5,32	14,40

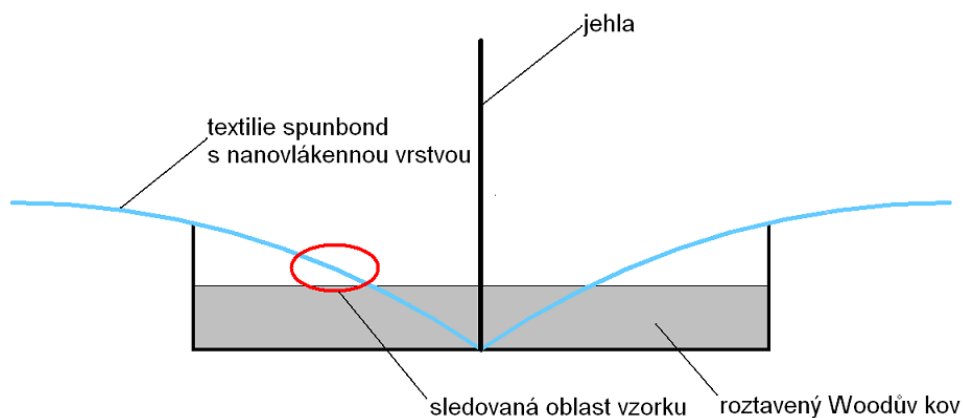
Tvorba krystalů, vytvořených odpařováním Woodova kovu a difundováním par do nanovlákněné vrstvy, je zmapována v tab. 13. Krystaly, vytvořené na nanovlákněné vrstvě s porózitou 47 %, dosahovaly průměrného měrného povrchu $1,14 \mu\text{m}^2$. Krystaly byly uchyceny na vlákněné vrstvě a byly pozorovány i pod vlákněnou vrstvou (obr. 18). U poróznosti 57 % bylo dosaženo velikosti povrchu krystalů $2,97 \mu\text{m}^2$ a u 66 % velikosti $3,43 \mu\text{m}^2$. Z čehož plyne, že při zvyšující se poróznosti roste povrch krystalů.

Pro srovnání byl tento postup proveden i na textilií spunbond a zde byla pozorována tvorba krystalů přímo na vláknech, kdy se tvořily samostatné krystaly a také shluky krystalů. Průměrná velikost plochy krystalů činila $14,40 \mu\text{m}^2$.



Obr. 18 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na nanovlákněné vrstvě o porózitě 57 % aplikací odpařování Woodova kovu na vlákněnou vrstvu. Krystaly jsou viditelné i pod nanovlákněnou vrstvou

Poslední způsob aplikace Woodova kovu na vlákněnou vrstvu byl proveden tak, že Woodův kov byl opět roztaven při 80 °C a byl nalit do petryho misky, nanovlákněná vrstva byla přes petryho misku natažena a uprostřed byla zatížena jehlou a ponořena do Woodova kovu (obr. 19). Zkoumána byla ta oblast, která byla nad hladinou Woodova kovu nejbližší, takže oblast v nejbližší blízkosti vlákněné vrstvy a hladiny. Preparát byl vložen na 2 hodiny do sušárny.



Obr. 19 Schéma odpařování Woodova kovu na nanovlákněnou vrstvu přidrženou v roztaveném kovu.

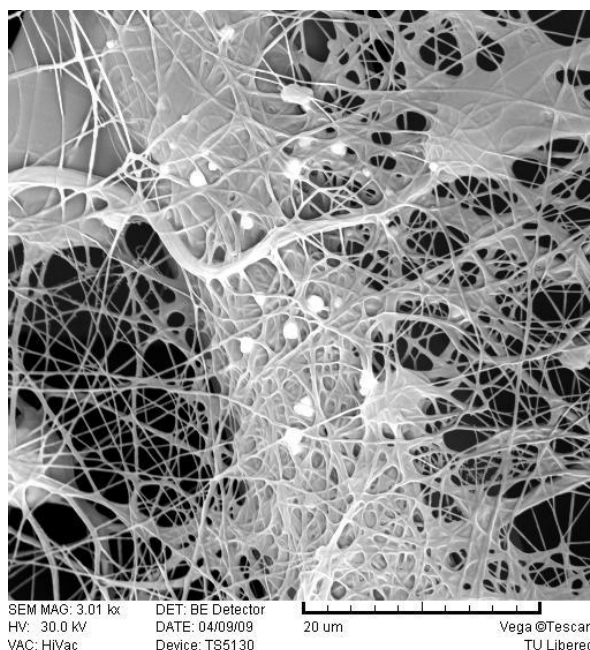
Snímky byly opět pořízeny na elektronovém mikroskopu VEGA a vyhodnoceny na obrazové analýze Lucia. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 14 a pořízené snímky v příloze I.

Tab. 14 Krystaly vytvořené pomocí Woodova kovu na nanovlákněných vrstvách s různou porózitou. Woodův kov byl odpařován na vlákněnou vrstvu, která byla přidržena jehlou v roztaveném Woodova kovu.

Poróznost [%]	Rozměry krystalů [μm^2]		Měrný povrch krystalů [μm^2]
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
47	0,54	0,12	0,54
57	0,95	0,32	0,95
66	3,15	1,02	3,15
Čistý SB 42 %	6,60	2,50	6,60

Z tab. 14 je patrné, že při zvyšování poróznosti se zvyšuje i měrný povrch krystalů. Při difundování kovu na vlákněnou vrstvu o poróznosti 47 % došlo k vytvoření krystalů o měrném povrchu $0,54 \mu\text{m}^2$. Poróznost 57 % vedla k vytvoření krystalů o velikosti $0,95 \mu\text{m}^2$ a poróznost 66 % k vytvoření $3,15 \mu\text{m}^2$ velkých krystalů. Krystaly se tvořily na vlákněné vrstvě převážně v místech, kde se bezprostředně pod vlákněnou vrstvou nacházely vlákna z podkladové textilie (obr. 20).

Na textilií spunbond byly vytvořeny krystaly o velikosti $6,60 \mu\text{m}^2$.



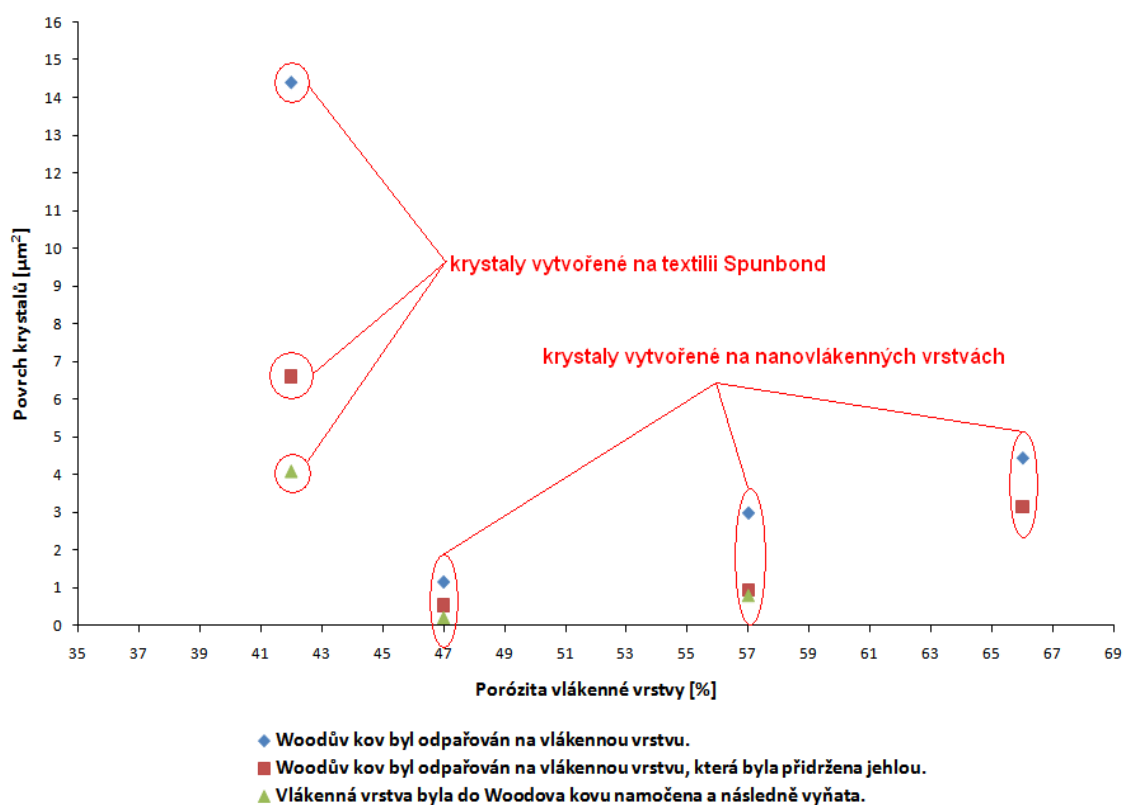
Obr. 20 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 57 % aplikací odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu přidrženou jehlou v rozehrátém kovu. Krystaly se na nanovláknenné vrstvě soustřeďovaly převážně v místech, kde pod nimi bylo vlákno z textilie spunbond.

2.5.2 Diskuze výsledků tvorby krystalů pomocí Woodova kovu

Druhá část experimentu vyšetřovala vznik krystalů pomocí aplikace Woodova kovu na nanovláknenné vrstvy s různou porózitou. Bylo použito různých aplikací Woodova kovu na vlákenné vrstvy. Jednalo se o namočení textilie spunbond a textilie s nanovláknennou vrstvou do Woodova kovu a následné vyjmutí, dále odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu v sušárně a odpařování Woodova kovu z bezprostřední blízkosti hladiny Woodova kovu na vlákennou vrstvu. Výsledné plochy krystalů ze všech koncentrací byly vypočítány a zpracovány do tabulky (tab. 15) a vyneseny do grafu 4.

Tab. 15 Souhrnné výsledky aplikace Woodova kovu na nanovláknennou vrstvu různými způsoby. Velikost plochy vytvořených krystalů.

Měrná hmotnost vláknenné vrstvy [g/m ²]	Poróznost vláknenné vrstvy [%]	Plocha krystalů [μm ²]		
		Vláknenná vrstva namočená do Woodova kovu a vyňata	Woodův kov odpařován na vlák. vrstvu	Woodův kov odpařován na vlák. vrstvu přidrženou jehlou
1,15	47	0,20	1,14	0,54
0,78	57	0,79	2,97	0,95
0,38	66	X	4,43	3,15
Čistý SB 42%		4,10	14,40	6,60



Graf 4 - Závislost plochy krystalů, vytvořených z Woodova kovu, na poróznosti vláknenných vrstev.

Krystaly na textilií spunbond, o průměru vláken 19,98 μm , dosahovaly průměrné velikosti 14,40 μm^2 při odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu položenou volně a 6,60 μm^2 při odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu přidrženou jehlou. Vzorky krystalů, zkoumané na rastrovacím mikroskopu, které byly v roztaveném Woodově kovu přidržené jehlou, byly odebrány z místa, které bylo nejbližší hladiny rozpuštěného Woodova kovu. Při odpařování Woodova kovu z bližší vzdálenosti k textilií spunbond, došlo k vytvoření krystalů menších, než při odpařování Woodova kovu na textilií vzdálenou 0,5 cm.

Nanovlákná vrstva měla průměrnou hodnotu průměru vláken 0,19 μm . Krystaly, které byly vytvořeny na nanovlákné vrstvě, dosahovaly velikostí od 0,2 μm^2 do 4,43 μm^2 .

Z výsledků plyne, že se zvětšujícím průměrem vláken se zvětšuje i velikost krystalů na nich vytvořených, stejně jako u roztoků NaCl.

Z grafu 4 je patrné, že poróznost nanovlákných vrstev má vliv na plochu krystalů, a to takový, že se zvyšující porózností nanovlákné vrstvy plocha krystalů roste. Krystaly vytvořené na textilií spunbond dosahují větších hodnot plochy krystalů.

Závěr

V této diplomové práci byla studována krystalizace pevných látek na vlákenných površích a nanovláknenných vrstvách. Hlavním cílem této práce bylo zjistit vliv velikosti plochy krystalů na vlákenných površích podkladových textilií. Byla zkoumána struktura krystalů, a způsob, jakým se tvoří na textilii spunbond a na nanovláknenných vrstvách o různé porózitě. Dále byla sledována plocha vzniklých krystalů v závislosti na parametrech vláknenné vrstvy a na použité krystalické látce.

V první části experimentu byla jako krystalická látka použita roztok chloridu sodného o různých koncentracích. U vlákenných útvarů docházelo ke vzniku krystalů jak v místech kontaktů vláken, tak na vláknech samotných. Krystaly se v hojně míře vyskytovaly i na defektech vláknenné vrstvy, neboli na shlučích shluků vláknenné vrstvy. Z výsledků vyplývá, že se zvyšujícím se průměrem vlákna, velikost plochy krystalů roste. Krystaly, vytvořené na textilii spunbond, měly přibližně 1000-krát větší plochu, než krystaly vytvořené na nanovláknenné vrstvě. Dále bylo zjištěno, že porózita nanovláknenné vrstvy ovlivňuje velikost krystalů, a to tak, že se zvyšující se porózitou a snižující se měrnou hmotností, plocha krystalů roste. Na nanovláknenné vrstvě s povrchově aktivní látkou, u níž byla kapka roztoku NaCl rovnoměrně rozprostřena, nedošlo k vytvoření krystalů u všech porózit a koncentrací, jak bylo předpokládáno. Z experimentu tedy vyplývá, že hydrofobita na tvorbu krystalů nemá vliv.

Z druhé části experimentu, kdy byl jako výchozí látka na výrobu krystalů použit Woodův kov, vyplývá, že se zvyšující se porózitou nanovláknenné vrstvy plocha krystalů roste, stejně jako u krystalů z NaCl. Opět byly krystaly proměřeny i na textilii spunbond a hodnoty velikosti plochy krystalů jsou řádově 10-krát větší, než hodnoty krystalů na nanovláknenných vrstvách. Při odpařování Woodova kovu na vláknennou vrstvu hrála velkou roli vzdálenost vláknenné vrstvy od hladiny Woodova kovu. Čím dále byla textilie od hladiny, tím větší krystaly byly vytvořeny.

Tato práce by se mohla stát výchozím bodem pro další vývoj nanokrystalů pomocí různých krystalických látek. Pro další práce by bylo vhodné použít ke krystalizaci větší koncentrace roztoku NaCl, a zjistit její vliv na velikost vzniklých krystalů.

Použitá literatura

- [a] Zimák J.: Vznik a vývoj krystalu, Skriptum, UP Olomouc, 1995. ISBN 80-7067-471-8.
- [b] Kraus I.: Struktura a vlastnosti krystalů, Academia Praha, 1993. ISBN 80-200-0372-X.
- [c] Kratochvíl P.: Krystaly, jejich vznik a použití, SNTL Praha 1963.
- [d] Webside [online] [citace z 13.11.2008] dostupný z <http://www.techcorp.cz/0014/000002.htm>,
- [e] Webside [online] [citace z 10.11.2008] dostupný z http://www.sci.muni.cz/mineralogie/kap_2_1_krystalizace/kap_2_1_vznik_kryst.htm,
- [f] D.Benavente, M.A. García del Cura, J.García-Guinea, S.Sánchez-Moral, S.Odóñez: *Role of pore structure in salt crystallisation in unsaturated porous stone*, Journal of Crystal Growth 260 (2004) 532–544 , 10.12.2008.
- [g] Kubíček L.: Krystalizace kovů a slitin, Skriptum, VŠCHT Praha, 1991. ISBN 80-7080-130-1.
- [h] Kolektiv autorů: *Kurs o opracování krystalů a křehkých materiálů*, Učební texty, Dům techniky ČSVTS Ústí nad Labem, 1988.
- [i] Webside [online] [citace z 20.11.2008] dostupný z <http://www.sterimar.cz/cs/zajimavosti/morska-voda/>
- [j] Webside [online] [citace z 13.11.2008] dostupný z: http://www.herber.webz.cz/www_ocean/03-vlastnosti.htm
- [k] Webside [online] [citace z 25.11.2008] dostupný z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Krystalizace>
- [l] Webside [online] [citace z 25.11.2008] dostupný z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nanokrystal>
- [m] Šulc V.: Krystaly a jejich technické využití, ČVUT Praha, 1967.
- [n] LUCIA verze 4.82 – System for Image Processing and Analysis - Uživatelská příručka, 2004.
- [o] VEGA TS 5130, Technický popis a návod k obsluze, Tescan.
- [p] Vohlídal J., Štulík K., Julák A.: Chemické a analytické tabulky, Grada Publishing Praha, 1999. ISBN 80-7169-855-5.

- [q] Büchner W., Schliebs R., Winter G., Büchel K. H.: Průmyslová anorganická chemie, SNTL Praha, 1991.
- [r] Webside [online] [citace z 15.4..2009] dostupný z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Wood%27s_metal

Přílohy

Příloha A. Krystaly vytvořené na podložním sklíčku, koncentrace roztoku NaCl 1g/l - 50g/l.

Příloha B. Snímky krystalů roztoku NaCl a destilované vody z rastrovacího mikroskopu VEGA. Krystaly na podkladové hydrofobní textilií o průměru průměrů vláken 19,98 μm a koncentraci 1 g/l – 4 g/l.

Příloha C. Snímky krystalů vyrobených z roztoku NaCl a destilované vody na nanovlákněné vrstvě o porózitě 47 %.

Příloha D. Snímky krystalů vyrobených z roztoku NaCl a destilované vody na nanovlákněné vrstvě o porózitě 57 %.

Příloha E. Snímky krystalů z roztoku NaCl a destilované vody vyrobených na nanovlákněné vrstvě o porózitě 66 %.

Příloha F. Snímky krystalů z roztoku NaCl a destilované vody vyrobených na nanovlákněné vrstvě s povrchově aktivní látkou o různých porózitách.

Příloha G. Snímky krystalů vyrobených z Woodova kovu, kdy byla nanovlákněná vrstva o různé porózitě do kovu namočena a následně z něj byla vyňata.

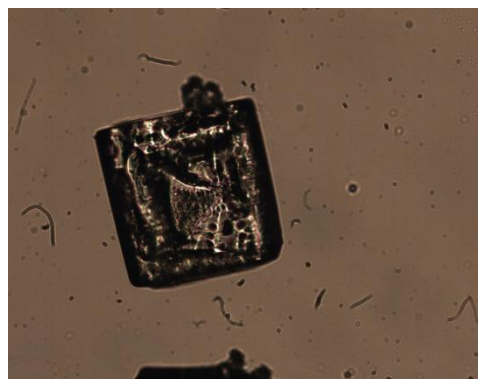
Příloha H. Odpařování Woodova kovu na nanovlákněnou vrstvu, položenou volně, z povrchu kapaliny v sušárně.

Příloha I. Odpařování rozehřátého Woodova kovu na textilií, která byla přidržena jehlou v kovu.

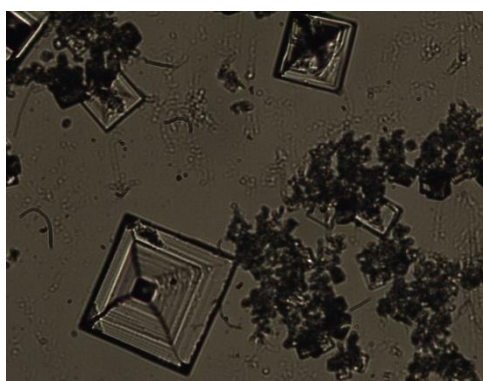
Příloha A. Krystaly vytvořené na podložním sklíčku, koncentrace roztoku NaCl 1g/l – 50g/l.



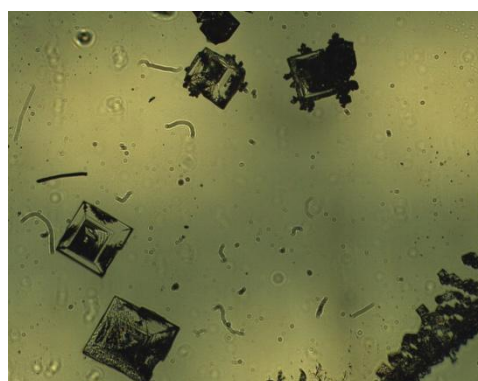
Obr. 21 Koncentrace NaCl 1 g/l



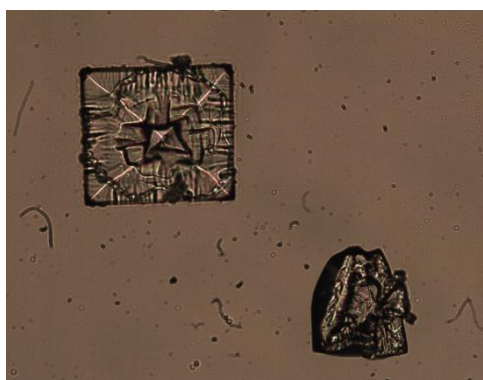
Obr. 24 Koncentrace NaCl 4 g/l



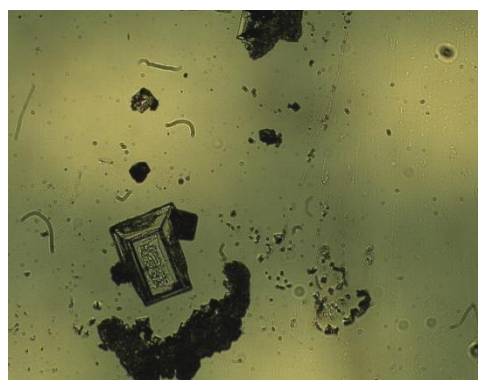
Obr. 22 Koncentrace NaCl 2 g/l



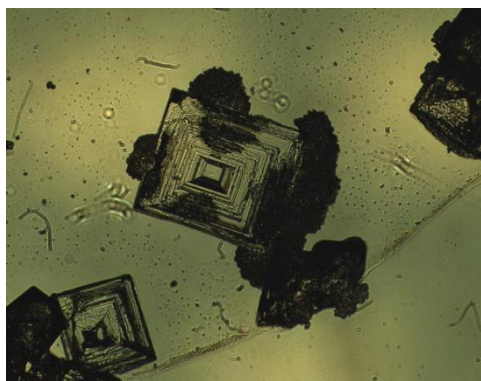
Obr. 25 Koncentrace NaCl 5 g/l



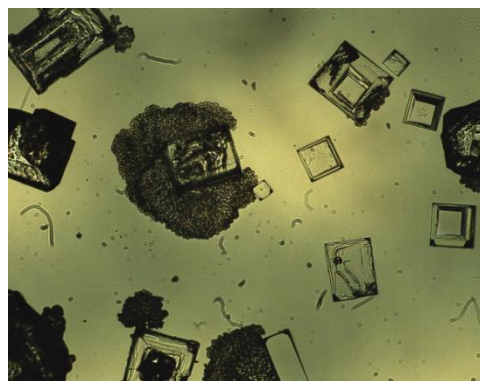
Obr. 23 Koncentrace NaCl 3 g/l



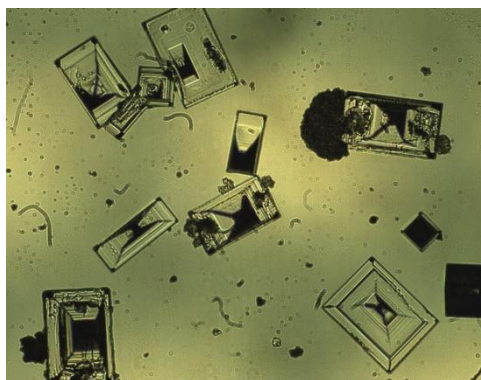
Obr. 26 Koncentrace NaCl 6 g/l



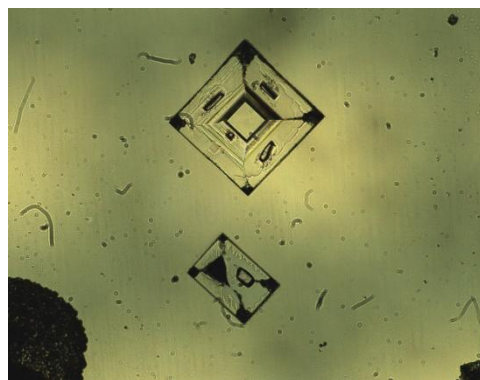
Obr. 27 Koncentrace NaCl 7 g/l



Obr. 29 Koncentrace NaCl 9 g/l

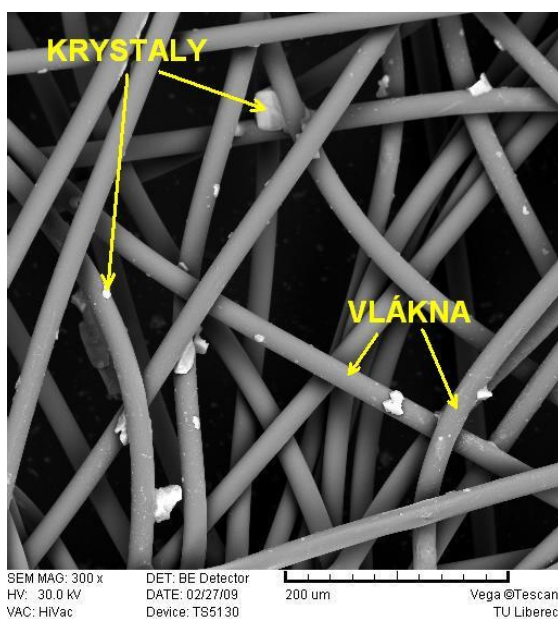


Obr. 28 Koncentrace NaCl 8 g/l

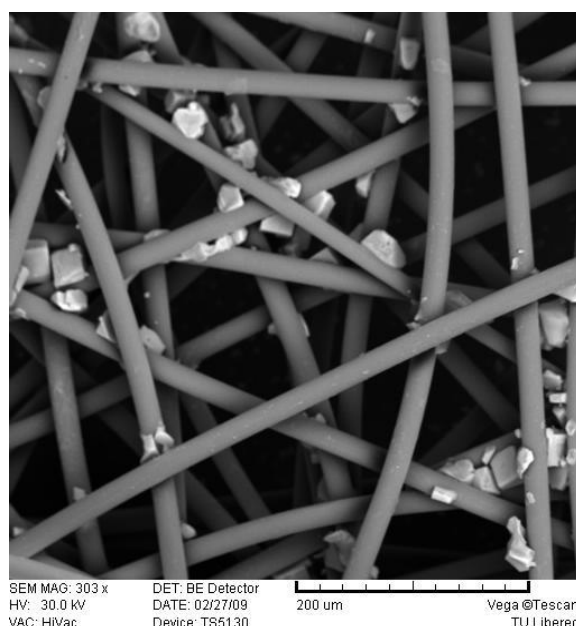


Obr. 30 Koncentrace NaCl 10 g/l

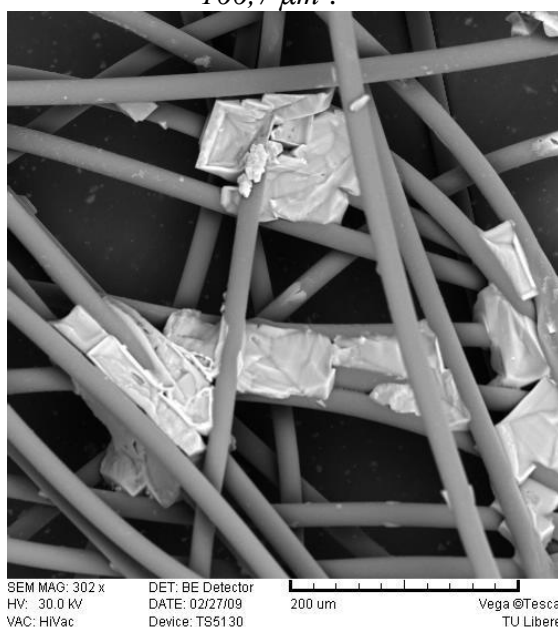
Příloha B. Snímky krystalů roztoku NaCl a destilované vody z rastrovacího mikroskopu VEGA. Krystaly na podkladové hydrofobní textilii o průměru průměrů vláken 19,98 μm a koncentraci 1 g/l – 4 g/l.



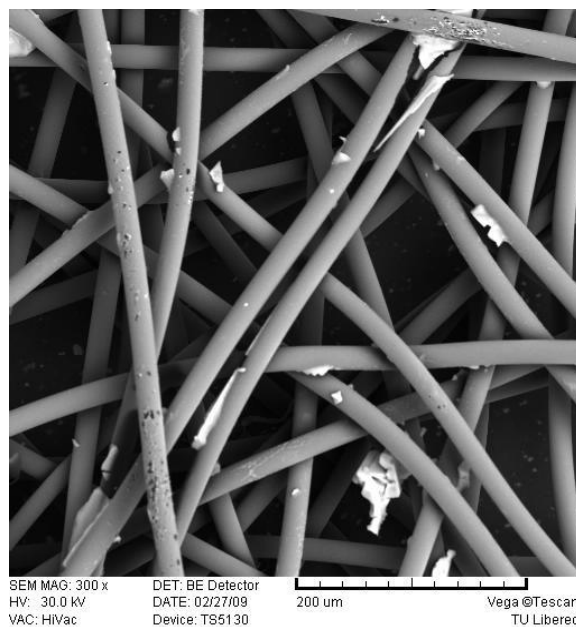
Obr. 31 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 1 g/l na podkladové textilii, plocha vytvořených krystalů činí 166,7 μm^2 .



Obr. 33 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 2 g/l na podkladové textilii, plocha vytvořených krystalů činí 334,7 μm^2 .

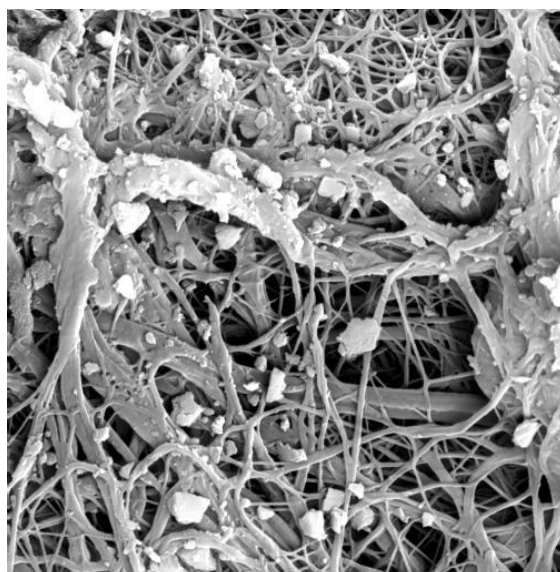


Obr. 32 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 3 g/l na podkladové textilii, plocha vytvořených krystalů činí 1461,41 μm^2 .

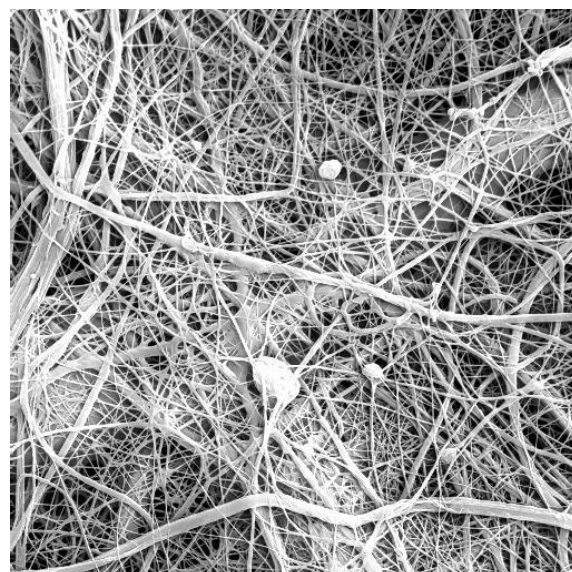


Obr. 34 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 4 g/l na podkladové textilii, plocha vytvořených krystalů činí 338,06 μm^2 .

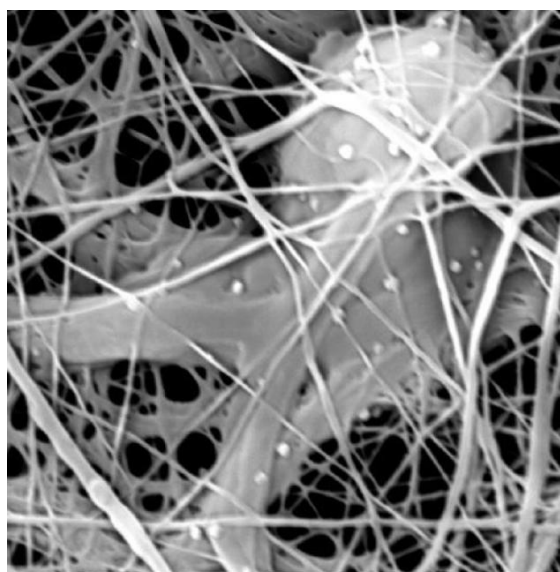
Příloha C. Snímky krystalů vyrobených z roztoku NaCl a destilované vody na nanovláknenné vrstvě o porózitě 47 %.



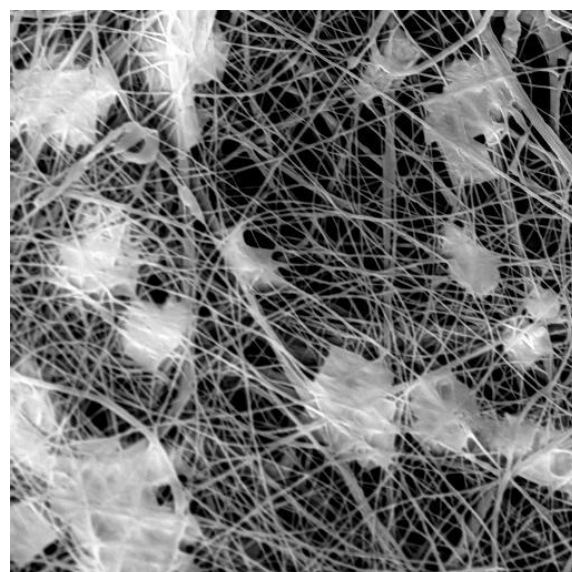
Obr. 35 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 1 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 47 %.



Obr. 37 Na vláknenné vrstvě o porózitě 47 % a koncentraci NaCl 2 g/l krystaly nebyly nalezeny.

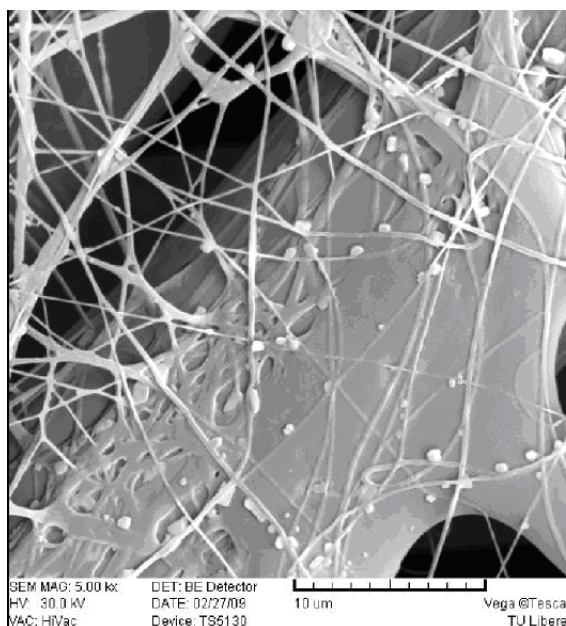


Obr. 36 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 3 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 47 %.

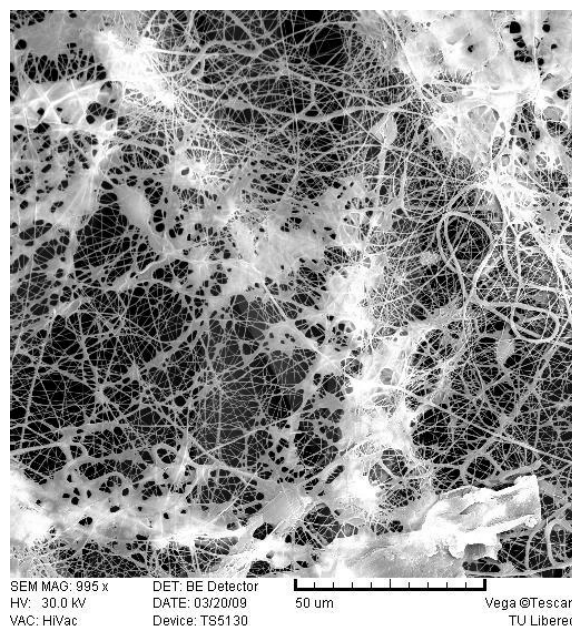


Obr. 38 Na vláknenné vrstvě o porózitě 47 % a koncentraci NaCl 4 g/l krystaly nebyly nalezeny.

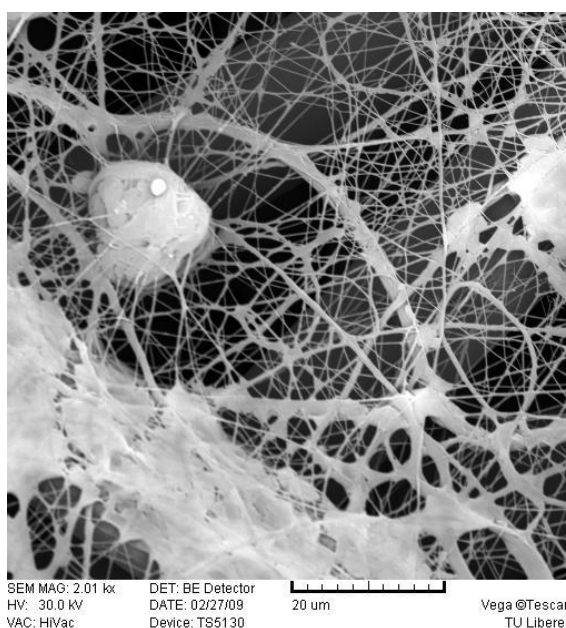
Příloha D. Snímky krystalů vyrobených z roztoku NaCl a destilované vody na nanovláknenné vrstvě o porózitě 57 %.



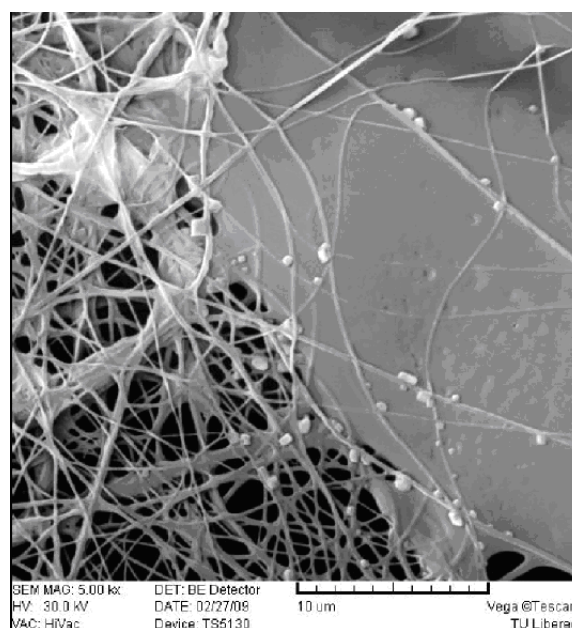
Obr. 39 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 1 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 57 %.



Obr. 41 Na vláknenné vrstvě o porózitě 57 % a koncentraci NaCl 2 g/l krystaly nebyly nalezeny.

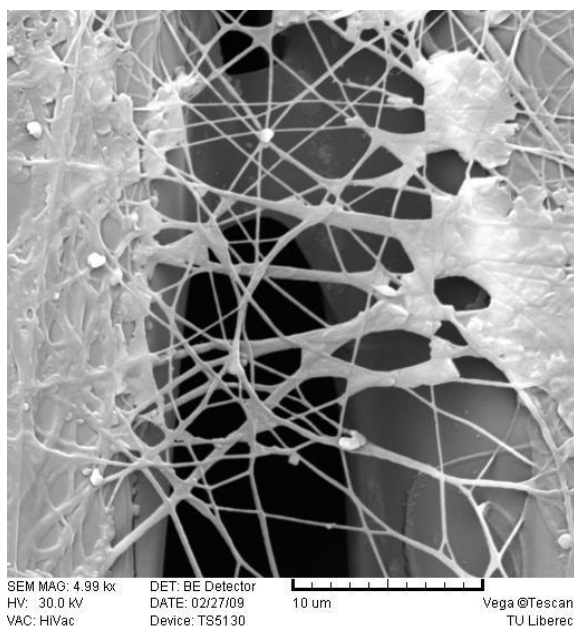


Obr. 40 Na vláknenné vrstvě o porózitě 57 % a koncentraci NaCl 3 g/l krystaly nebyly nalezeny.

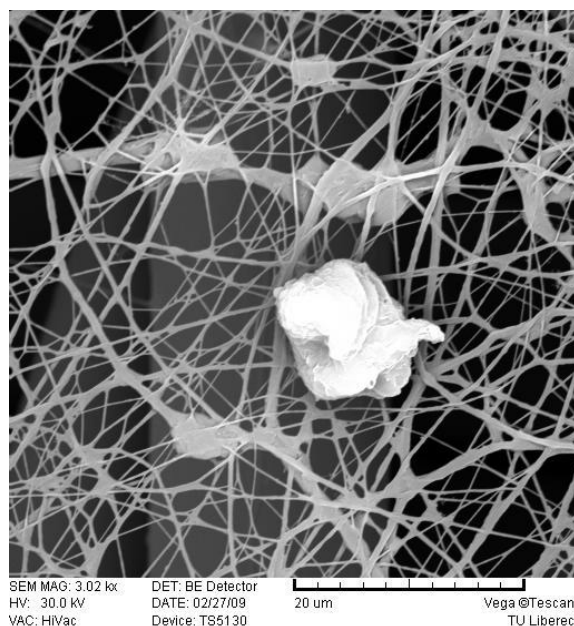


Obr. 42 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 4 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 57 %.

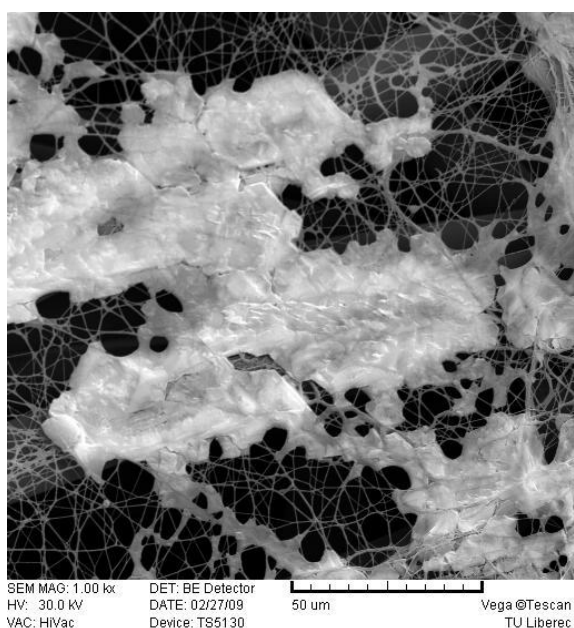
Příloha E. Snímky krystalů z roztoku NaCl a destilované vody vyrobených na nanovláknenné vrstvě o porózitě 66 %.



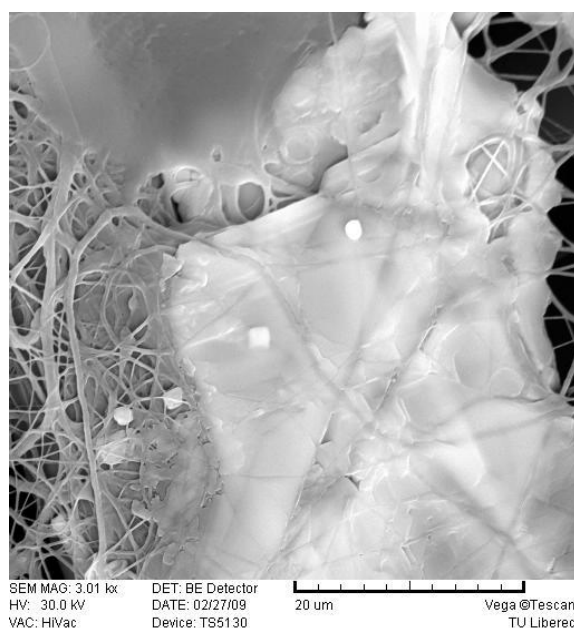
Obr. 43 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 1 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 66 %.



Obr. 45 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 2 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 66 %.

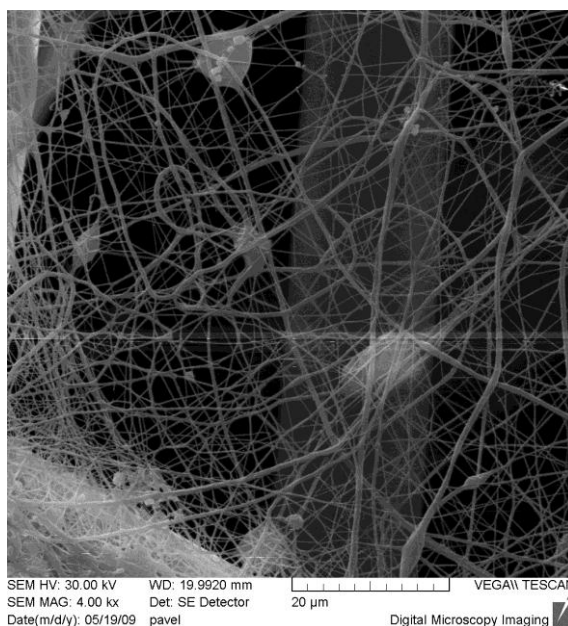


Obr. 44 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 3 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 66 %.

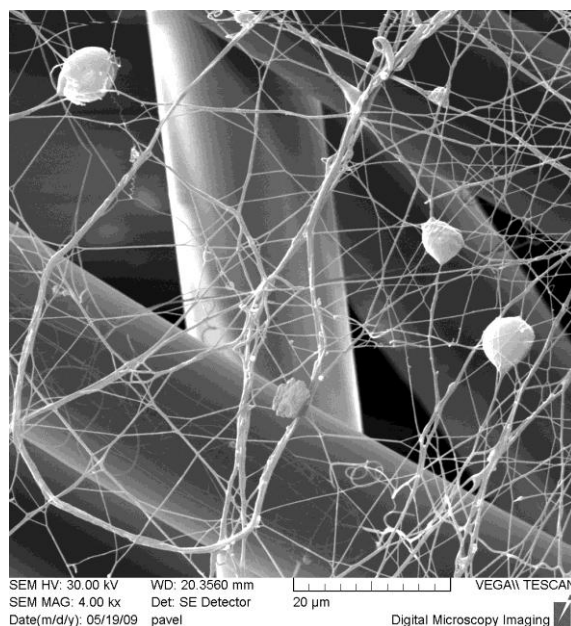


Obr. 46 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 4 g/l, na vláknenné vrstvě o porózitě 66 %.

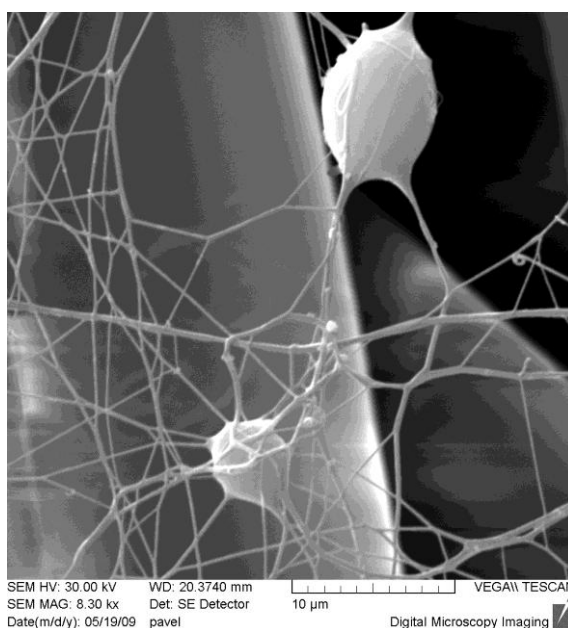
Příloha F. Snímky krystalů z roztoku NaCl a destilované vody vyrobených na nanovláknenné vrstvě s povrchově aktivní látkou o různých porózitách.



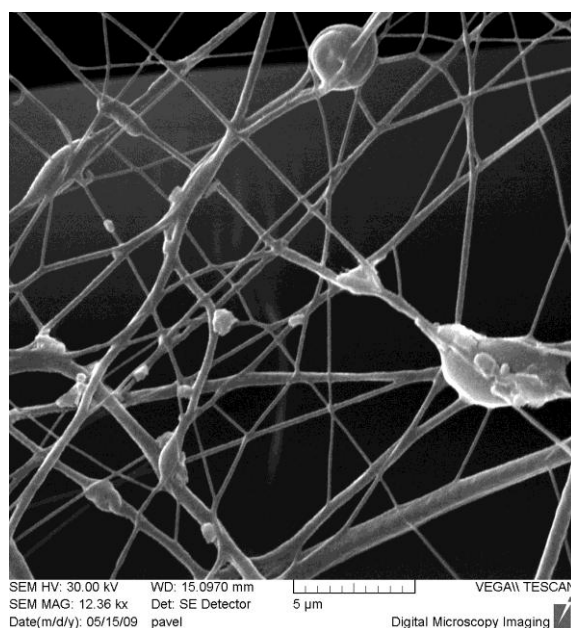
Obr.47 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 4 g/l, na vláknenné vrstvě s PAL o porózitě 50 %.



Obr. 49 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 4 g/l, na vláknenné vrstvě s PAL o porózitě 57 %.

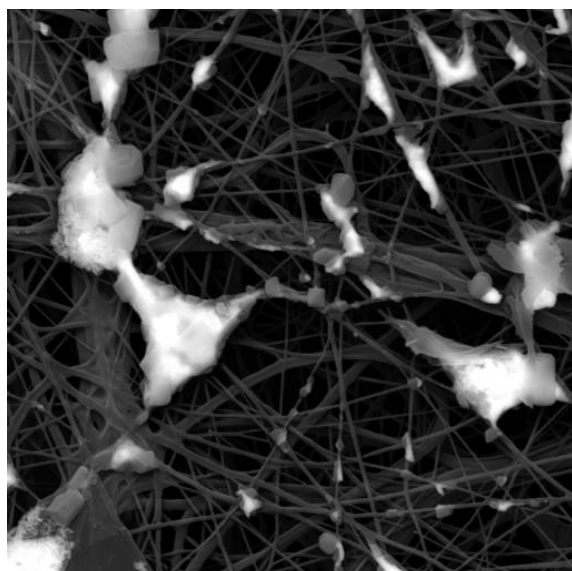


Obr. 48 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 1 g/l, na vláknenné vrstvě s PAL o porózitě 57 %.

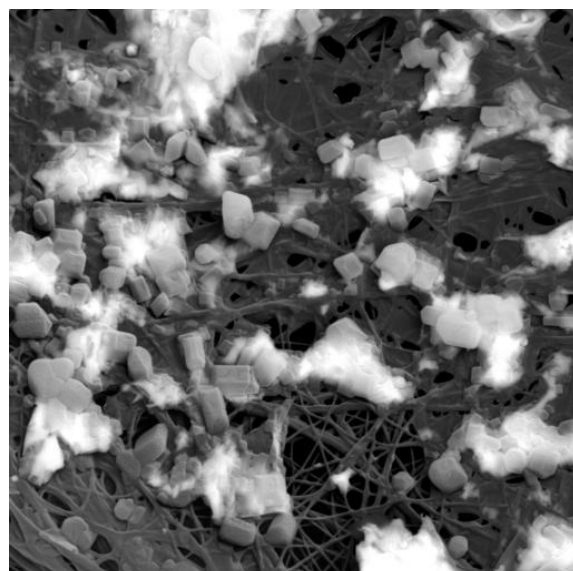


Obr. 50 Krystaly vytvořené z koncentrace NaCl 2 g/l, na vláknenné vrstvě s PAL o porózitě 60 %.

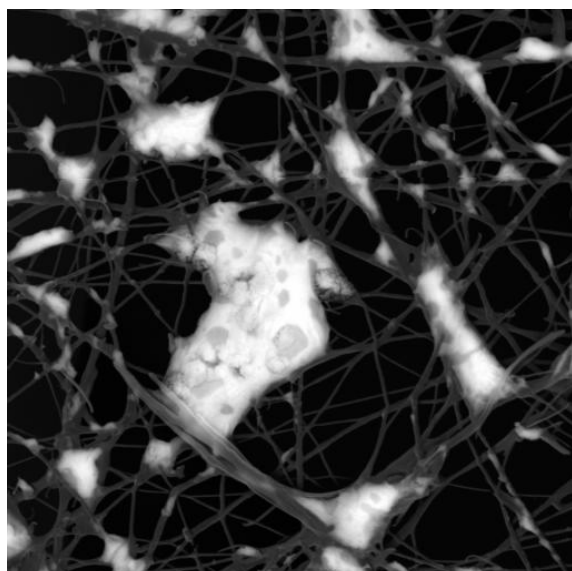
Příloha G. Snímky krystalů vyrobených z Woodova kovu, kdy byla nanovláknenná vrstva o různé porózitě do kovu namočena a následně z něj byla vyňata.



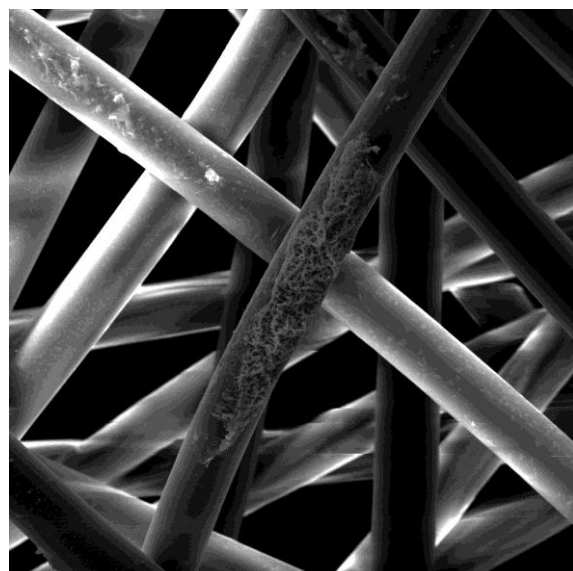
Obr. 51 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 47 % aplikací namočení vlákenné vrstvy do Woodova kovu a vyjmutí z něj.



Obr. 53 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 57 % aplikací namočení vlákenné vrstvy do Woodova kovu a vyjmutí z něj.

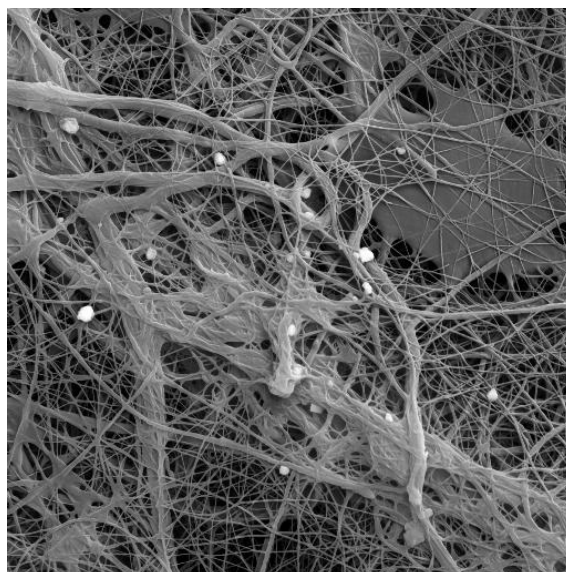


Obr. 52 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 66 % aplikací namočení vlákenné vrstvy do Woodova kovu a vyjmutí z něj.

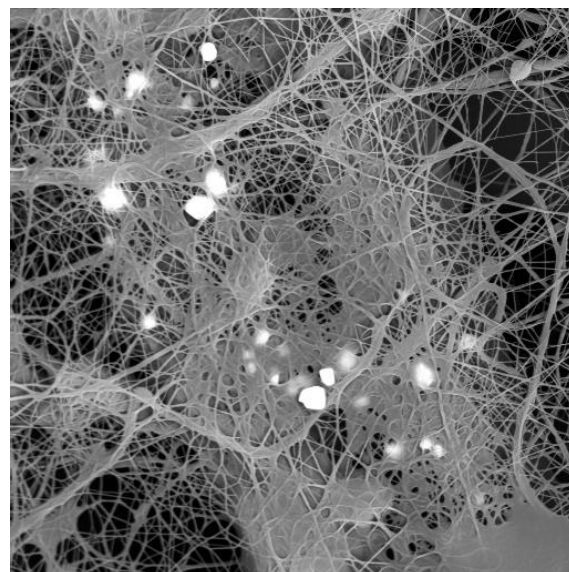


Obr. 54 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na textílii spunbond o porózitě 42 % aplikací namočení vlákenné vrstvy do Woodova kovu a vyjmutí z něj.

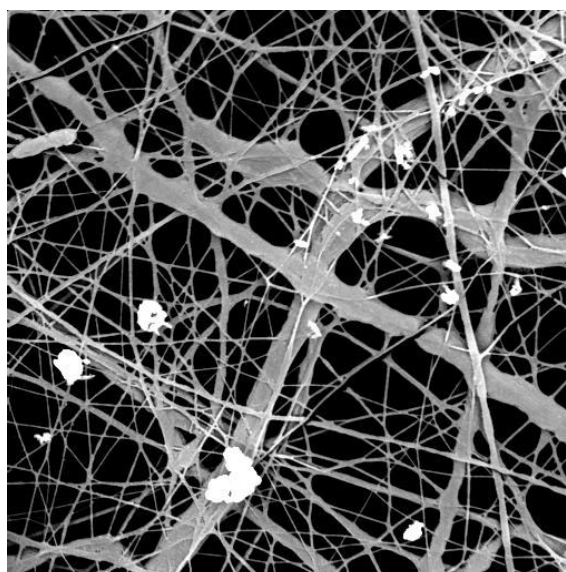
Příloha H. Odpařování Woodova kovu na nanovláčennou vrstvu, položenou volně, z povrchu kapaliny v sušárně.



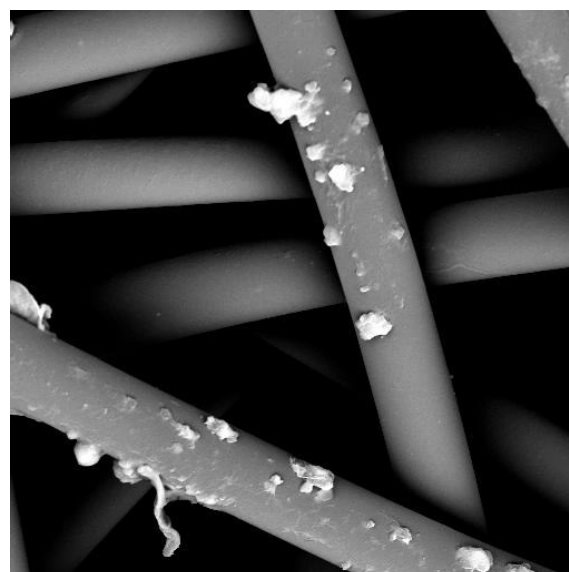
Obr. 55 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vláčenné vrstvě o porózitě 47 % aplikací odpařování Woodova kovu na vláčennou vrstvu.



Obr. 57 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vláčenné vrstvě o porózitě 57 % aplikací odpařování Woodova kovu na vláčennou vrstvu.

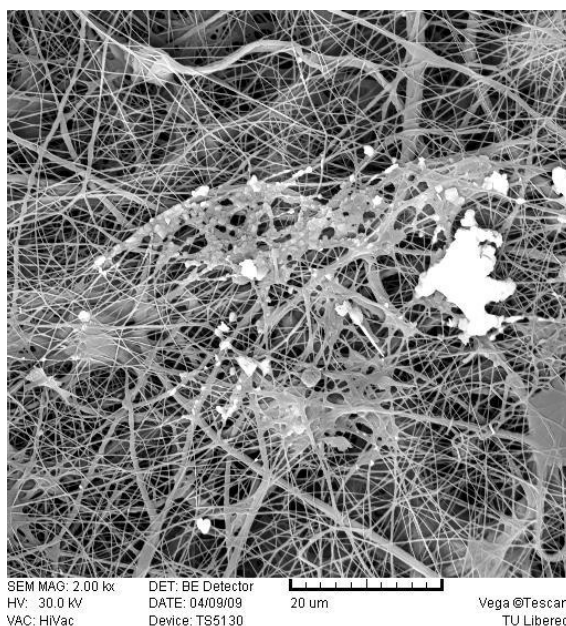


Obr. 56 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vláčenné vrstvě o porózitě 66 % aplikací odpařování Woodova kovu na vláčennou vrstvu.

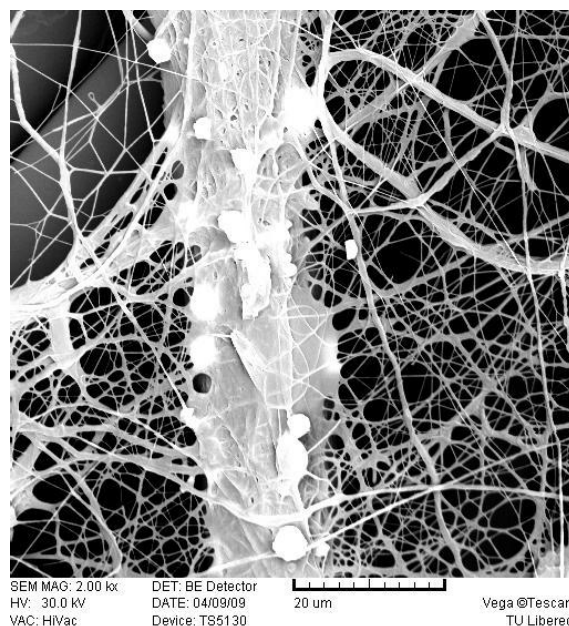


Obr. 58 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na textílii spunbond o porózitě 42 % aplikací odpařování Woodova kovu na vláčennou vrstvu.

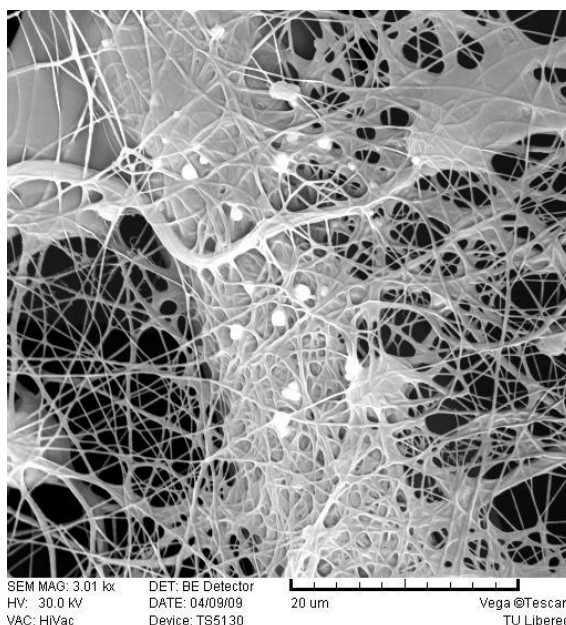
Příloha I. Odpařování rozehrátého Woodova kovu na textilií, která byla přidržená jehlou v kovu.



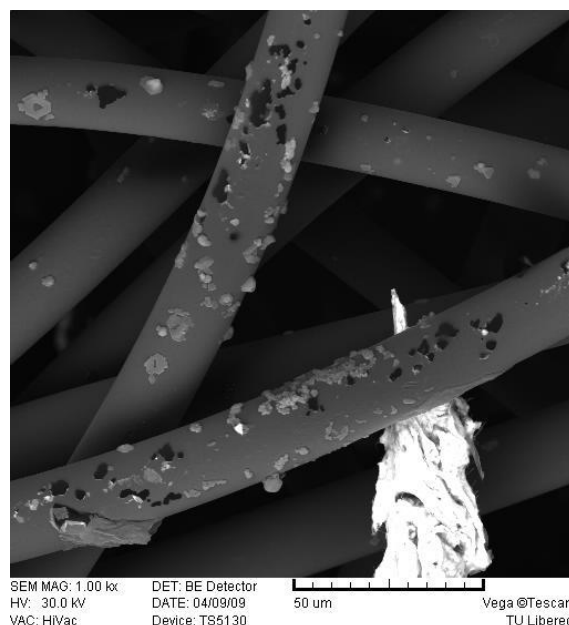
Obr. 59 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 47 % aplikací odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu přidrženou jehlou v rozehrátém kovu.



Obr. 61 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 66 % aplikací odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu přidrženou jehlou v rozehrátém kovu.



Obr. 60 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na vlákenné vrstvě o porózitě 57 % aplikací odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu přidrženou jehlou v rozehrátém kovu.



Obr. 62 Krystaly vytvořené z Woodova kovu na textilií spunbond o porózitě 42 % aplikací odpařování Woodova kovu na vlákennou vrstvu přidrženou jehlou v rozehrátém kovu.